

УДК 373.5.016:53]:37.091.33-028.22](045)

DOI:

## ПРОБЛЕМА НАОЧНОСТІ ПРИ ВИВЧЕННІ ФІЗИЧНИХ ТЕОРІЙ У ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

**Сергій Терещук**, доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини.

ORCID: 0000-0002-1084-5838

E-mail: s.i.tereschuk@udpu.edu.ua

*Стаття присвячена проблемі наочності у методиці навчання фізики, яка виникла у зв'язку із розвитком фізичної науки та пов'язана з високим рівнем абстракції наукових понять, що вивчаються у курсі фізики 11 класу. Викладено результати дослідження, в якому показано, що вказана проблема розв'язується в межах гіпотетико-дедуктивної моделі вивчення квантової фізики та теорії відносності. Розв'язання проблеми наочності можливе, якщо змістити акценти у навчанні з демонстрації наочностей об'єктів мікросвіту та відповідних явищ на дослідження учнями цих об'єктів з використанням індуктивних та дедуктивних процедур із широким залученням концепції критичного раціоналізму.*

**Ключові слова:** наочність; «криза наочності»; квантова теорія; спеціальна теорія відносності; гіпотетико-дедуктивна модель; критичне мислення; загальна теорія відносності; корпускулярно-хвильовий дуалізм; фізичні поняття; фізичні теорії.

## THE PROBLEM OF VISUALIZATION IN THE STUDY OF PHYSICAL THEORIES IN GENERAL SECONDARY EDUCATION INSTITUTIONS

**Serhii Tereshchuk**, Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Teaching Natural Sciences, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

ORCID: 0000-0002-1084-5838

E-mail: s.i.tereschuk@udpu.edu.ua

*The purpose of the article is to analyze the state of the issue of the “crisis of visualization” in studying physical theories with a high level of abstraction and complex mathematical tools, which are inaccessible to 10–11th grade students, in order to address the problem of visualization in the methodology of teaching physics.*

*The article addresses the issue of visual aids in the methodology of teaching physics, which has arisen due to the development of physical science and is associated with the high level of abstraction of scientific concepts studied in the 11th-grade physics course. The results of the study demonstrate that this issue can be resolved within the framework of the hypothetico-deductive model for studying quantum physics and the theory of relativity.*

*Despite certain similarities, there is a significant difference between students' assimilation of concepts and the cognitive process as scientific inquiry. The educational process, in terms of content, requires that the concepts to be assimilated possess not only a logical structure and scientific validity but also take into account the functioning of personal knowledge. This is also due to the fact that, procedurally, scientific knowledge and the information assimilated by students are intended to address different tasks-*

*cognitive tasks for students and research tasks for scientists.*

*The solution to the problem of visual aids is achievable if the focus in teaching shifts from demonstrating visual representations of microscale objects and corresponding phenomena to engaging students in the investigation of these objects through the use of inductive and deductive procedures, with extensive incorporation of the concept of critical rationalism.*

**Keywords:** *clarity, "crisis of clarity"; quantum theory; special theory of relativity; hypothetical-deductive model; critical thinking; general theory of relativity; corpuscular-wave dualism; physical concepts; physical theories.*

У педагогіці і в теорії та методиці навчання фізики зокрема, завжди існували різні підходи щодо формування понять. Тривалий час найбільш поширеною була дидактична концепція засвоєння навчального матеріалу, що сповідувала примат чуттєвого досвіду учня, на основі якого формується зміст поняття. Процесуально це передбачає використання чуттєвого досвіду школяра через організацію сприйняття чуттєвого образу предмета з наступним його узагальненням на рівні поняття. З позицій психології теоретичною основою такого підходу можна вважати концепцію інтелекту Ж. Піаже, згідно з якою розвиток психіки відбувається у процесі адаптації особи до середовища. Операційно адаптація відбувається як інтеріоризація зовнішніх соціальних уявлень у внутрішню структуру свідомості індивіду. В рамках цієї концепції Ж. Піаже виокремлював чотири стадії розвитку інтелекту для відповідних вікових періодів: сенсомоторна (до 2 років), перед операціональна (6–7 років), стадія конкретних операцій (до 12 років), стадія формальних операцій (приблизно 15 років). Стадія конкретних операцій розвитку інтелекту скеровує формування знань у дусі класичного сенсуалізму, тобто з опорою лише на чуттєвий досвід учнів.

Таким чином, цей підхід до формування складних фізичних понять передбачає використання чуттєвого досвіду індивідуального сприйняття дійсності, тобто утворення ідей і понять через «зовнішній досвід». У зв'язку з цим О. І. Ляшенко справедливо вказує на вплив у філософському контексті ідей локківського сенсуалізму та емпіризму на педагогічну теорію навчального пізнання [2]. Локківська філософія вирізняла знання за двома ступенями – беззаперечне та правдоподібне. Якщо незаперечне знання є продуктом мислення, міркування і не може бути отримане шляхом досвіду, то правдоподібне є результатом безпосереднього емпіричного досвіду, що не пройшло процедури обдумування, розмірковування, аналізу та порівняння з іншими ідеями та поняттями. Саме таке знання Локк розглядав у трьох стадіях: інтуїтивної стадії, що опирається на узагальнююче мислення «внутрішнього досвіду», демонстративної стадії, що є розмірковуваннями над емпіричними даними «зовнішнього досвіду» і, нарешті, чуттєвої, що керується виключно чуттєвим сприйняттям індивідууму. Привабливість методології сенсуалізму та емпіризму для дидактики виражена не лише у принципі наочності у вузькому його розумінні, але також через педагогічну вимогу щодо спрямування у навчанні від простого до складного, відомої ще за працями Я. А. Коменського. Тому закономірно, що локківська філософія спирається на здоровий глузд, який своєю чергою керується чуттєвим досвідом, а усі інші філософські течії визнає схоластичними і невартими уваги. Такий стан тривалий час був панівним серед дидактів та методистів. Теорія навчального пізнання, в основу якої мала б бути покладена вказана філософська база, повинна виходити з наступних концептуальних положень. Поняттєвий апарат будь-якого навчального предмету пов'язаний зі світом

чуттєвих образів безпосередньо і є продовженням усієї сукупності чуттєвого досвіду. Тому сприйняття навколишнього світу здійснюється через побудову образів та уявлень, які утворюють індивідуальну чуттєву основу дитини, на яку слід опиратися педагогу при формуванні нових складних понять. Звідси випливає наступна теза – сутність понятійного знання є чуттєво-наочним, а його розкриття відбувається через споглядання учнем навколишнього світу, коли відбувається безпосередня дія предметів на його органи відчуття.

Превалювання у процесі формування понять емпіричних узагальнень як продукту чуттєвого досвіду, систематизованого під керівництвом учителя шляхом «збагачення спостережень» якнайбільшого числа різноманітних об'єктів, поступово надало системі шкільного фізичного експерименту статусу інструменту, який функціонально виступає джерелом чуттєвого досвіду учнів. Саме тому окремими методистами навчальний фізичний експеримент визначається як засіб наочності і одночасно як її невіддільна частина. Натомість *шкільний навчальний експеримент має демонструвати науковий метод пізнання фізичних явищ із відповідними елементами експерименту фізичної науки, що дозволяє формувати в учнів уявлення про сучасний науковий експериментальний метод дослідження природи з відповідними утвореннями фізичних теорій, що вивчаються*. Хибність вузького трактування функцій навчального експерименту, коли в методичній системі вивчення фізики вбачається виключно як засіб формування наочно-образних уявлень, таких, що формують чуттєвий досвід через зорове сприйняття, стала особливо помітною, коли вивчення теорії відносності, квантової оптики, фізики елементарних частинок неминуче призвело до необхідності демонстрації експериментів, експериментальних установок, опису дослідів та ін., які відкривають якісно нову систему явищ, нових об'єктів дослідження, що не сприймаються органами чуття людини, а піддаються лише реєстрації приладами. Очевидно, що зрозуміти складний зміст таких понять, а відтак і розпочати їх формування з наочно-образних уявлень, проведення аналогій і порівнянь із механічними моделями практично неможливо. Якщо ж це вдається, то швидше призводить до деформацій сутності понять і утворення хибних уявлень про фізичні явища, процеси, фізичні величини тощо. Це особливо помітно при вивченні розділів фізики зі складним науково-теоретичним змістом (МКТ речовини, квантова механіка, спеціальна теорія відносності (СТВ), ядерна фізика та ін.).

Метою статті є аналіз проблеми «кризи наочності», яка виникає під час вивчення квантової теорії і теорії відносності у курсі фізики 10–11 класів. Вказані фізичні теорії характеризуються високим рівнем абстракції та складним математичним апаратом, який виходить за межі шкільної програми. На підставі проведеного аналізу, буде визначено подальші напрями досліджень для пошуку розв'язків проблеми «кризи наочності» в методиці навчання фізики.

У педагогічній психології під наочністю розуміють спеціально організоване у процесі навчання і підпорядковане його цілям застосування вчителем на уроці спостереження об'єктів реальної дійсності або їх заміників, які імітують окремі істотні ознаки і властивості оригіналу [3].

Негативний вплив абсолютизації наочності в шкільному фізичному експерименті став особливо помітним на тлі «ненаочності» складних фізичних понять, що було наслідком так званої «кризи наочності» фізичних теорій ХХ століття. Наочність

фізичної науки, зокрема теорій, понять, законів і наочність з погляду дидактики мають крім спільних ознак суттєві відмінності. У фізичній науці теорія вважається наочною, якщо за допомогою неї вдається показати (продемонструвати) яке-небудь відчуття, що схоже з тим відчуттям, яке представляє досліджуване явище. Наочність у дидактиці відіграє роль засобу створення чуттєвого образу через узагальнення якого формується наукове поняття. Тому точкою дотику наочності у фізиці і наочності у дидактиці фізики є опис теорії за допомогою безпосередніх показів людських органів чуття і утворених на їх основі чуттєвих образів через поняття, які виступають узагальненням буденного досвіду. Вказана точка дотику є в методичному аспекті першопричиною такого формування понять, яке розпочинають з чуттєво-конкретного образу з наступним переходом до узагальнення чуттєвого досвіду і який у методиці навчання фізики детально розроблений радянськими вченими-методистами. Усе це підтверджує той факт, що ненаочність нових фізичних теорій відносно класичної фізики згодом знайшла своє продовження у методичних та методологічних проблемах навчання фізиці, а саме у проблемах ненаочності більшості понять квантової фізики. Джерела цих суто методичних складнощів беруть свій початок зі змісту самих теорій, які виникли на зламі століть.

Загальновідомо, що фізична теорія, крім пізнавальних функцій пояснення, систематизації, передбачення виконує також функцію опису, що дозволяє говорити про її наочність аргіогої. Однак, це зовсім не означає, що квантова теорія та теорія відносності позбавлені функції опису, швидше навпаки – описовий апарат кожної з них має незрівнянно вищий рівень абстракції, а відтак складніші форми математичного та вербального відображення.

Для вирішення викладених вище проблем формування понять квантової оптики, теорії відносності, фізики елементарних частинок, недостатньо розробити методичні підходи, які лише локально коригуватимуть деякі особливості викладання означених відомостей. Розроблена методична система [4] базується на концептуальних положеннях, в основу яких покладені ідеї, які діаметрально відмінні від усталених концептуальних засад формування фізичних понять, що сповідують у філософському контексті індуктивно-емпіричні погляди і які обґрунтовано на теоретико-методичному рівні у чисельних працях та дослідженнях вітчизняних та зарубіжних учених.

З часів Я. А. Коменського наочність вважалась одним з головних правил навчання. В основу цього підходу була покладена сенсуалістично-матеріалістична гносеологія, яка базувалась на відомій тезі емпіриків: «У свідомості немає нічого, чого раніше не було б дано у відчутті» [1, с. 106].

Однією з фундаментальних проблем методики навчання квантової фізики є порушення наочності як педагогічного принципу. Наочність у дидактиці розуміється ширше, ніж зорове сприйняття. Воно містить в собі не лише сприйняття інформації через зір, а й через моторику і тактильні відчуття: лабораторне обладнання, статичні та динамічні навчальні посібники тощо. Проте, наочність слід розуміти глибше при опануванні учнями складних абстрактних об'єктів квантової фізики (квант світла, електрон, хвилі де Бройля та ін.). *Наочність* виступає як елемент мислення, що дозволяє пов'язати складний абстрактний образ чи математичну модель із конкретним уявним об'єктом, що має відповідні матеріальні аналоги. Якщо наочність як дидактичний принцип, покликаний розвивати наочно-образне мислення, то наочність

як акт мислення слугує засобом абстрактно-логічного мислення. Серед важливих факторів, що спричинили ненаочність квантової теорії є нова (порівняно з класичною фізикою) методологія її досліджень. Апроксимація методологічних підходів фізичної науки на навчальний процес в адекватній йому формі завжди дозволяла показати в загальному вигляді основні наукові методи дослідження явищ природи. Шкільний курс фізики являє собою цілісну систему, що складається з окремих структурних елементів емпіричного та теоретичного знання, які знаходяться у динамічному діалектичному взаємозв'язку. Засвоєння учнем теоретичних знань залежить не лише від ознайомлення з окремими методами (ідеалізація, моделювання, аналогія тощо), а й від опанування цілісною фізичною теорією. Загальновідомо, у фізичній науці існує три групи методів побудови теорії: метод принципів, метод модельної гіпотези і метод математичної гіпотези. Метод модельної гіпотези найближчий до гносеологічного циклу суспільно-історичного процесу наукового пізнання фізики: *наукові факти – проблеми – гіпотези – теоретичні висновки, практичне застосування теорії*.

Поки вивчаються питання, що історично належать до класичної фізики, цей підхід сповна себе виправдовує. В класичній фізиці хід досліджень передбачав наступну послідовність: створення теоретичної моделі, як гіпотетичної конструкції, яка містила суттєві властивості досліджуваного об'єкту; потім з'ясування зв'язків між фізичними величинами у вигляді математичного рівняння; знайдені рівняння отримували адекватну інтерпретацію відносно емпіричних даних. Переважна більшість класичних і напівкласичних теорій (теорія Бора) розроблялись саме за такою логікою:

1. Виявлення і накопичення експериментальних фактів, що не вкладаються в жодну з відомих теорій.
2. Висунення гіпотези за допомогою якої можна пояснити нові факти.
3. Уточнення гіпотези та оформлення математичних рівнянь, що віддзеркалюють положення нової теорії.
4. Отримання наслідків із положень нової теорії.
5. Експериментальна перевірка цих наслідків.

Як видно з наведеної схеми, процес творення нової теорії розпочинається і завершується фактами, отриманими з експерименту. У шкільному курсі фізики засвоєння наведеної методологічної схеми можливо при вивченні класичної механіки Ньютона, теорії всесвітнього тяжіння, молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу, теорії електромагнітного поля, спеціальної теорії відносності.

Існує інше бачення гносеологічного циклу пізнання, що передбачає практичне застосування наукового знання. Теоретичне знання стає об'єктом вивчення через науково-технічне застосування (технологічне знання) та науково-практичне застосування (нові знання і алгоритми діяльності) [2, с. 17]. Тоді цикл наукового пізнання постає у вигляді чотирьох фаз та відповідних функціональних форм знання: фаза цілеспрямованого наукового спостереження (емпіричне знання); фаза теоретико-логічного узагальнення (теоретичне знання); науково-технічне застосування (техніко-технологічне знання); фаза науково-практичного застосування (нові знання і алгоритми діяльності) [2, с. 19].

На кінець XIX та на початку XX століть у фізиці виникла «криза наочності», яка набула особливої гостроти зі швидким розвитком квантової механіки та фізики високих енергій. Була проголошена концепція «ненаочності» науково-теоретичних понять

сучасної фізики, що вважалося методологічним наслідком утворення квантової теорії світла та суперечностями, що виникли між квантовою теорією поля і класичною фізикою (за В. Гейзенбергом). Використання будь-яких наочностей, аналогій, метафор стало таким собі реліктом мислення класичної фізики. Початком вказаної кризи можна вважати висунення М. Планком гіпотези про квант енергії, як квант найменшої дії. Ненаочність ще більше стає очевидною, коли у 1905 році А. Ейнштейн пояснив механізм протікання явища зовнішнього фотоефекту через поглинання квантів світла поверхнею металу, що створило передумови визнання дуалістичної природи світла (точніше його властивостей). У результаті цього була втрачена наочність оптичних явищ, а після 1913 р., коли Бор припустив квантованість не лише світла, а й атомів, була порушена наочність теорії будови речовини. Борівська модель атома може бути отримана з класичних уявлень, однак висновки входять з ними у протиріччя. У цей період вченими часто використовувались уявні експерименти, що дозволяли з'ясувати важливе питання або проблему незалежно від того, чи буде такий дослід проведено фактично. Однак ненаочність квантової фізики і як наслідок цього – наявність парадоксів не зменшувалась. Так, досліди на інтерференцію розсіяного світла показували, що розсіяння відбувається внаслідок того, що падаючи, світлова хвиля вибиває з пучка електрон, який коливається з тією ж частотою. Коливальний електрон після цього випромінює сферичну хвилю з частотою падаючої хвилі і утворює розсіяне світло. У 1923 році Комптон отримав результат, який зруйнував наочну картину розсіяння. Частота розсіяних рентгенівських променів виявилась відмінною від частоти падаючих променів, що пояснюється тим, що розсіяння відбувається як зіткнення квантів електромагнітного випромінювання з електроном. Внаслідок зіткнення енергія  $E$  кванту зменшується, а тому зменшується й частота  $\nu = E/h$ .

Процес вигнання наочних уявлень продовжив де Бройль, який у 1924 році спробував поширити дуалізм хвильового і корпускулярного опису на елементарні частинки. Гіпотеза де Бройля підтвердилась експериментально. Людські органи чуття сприймають хвильові та корпускулярні властивості як протилежні – частинка займає певний об'єм простору, хвиля поступово заповнює увесь простір; частинка рухається у певному напрямку, хвиля поширюється у всі боки; до частинки на відміну від хвиль не застосовний принцип суперпозиції. Отже, де Бройль об'єднав властивості, які чуттєво-протилежні і не сумісні в наочному представленні. Однак, на цьому відмова від наочності не закінчилась. Згодом виявилось, що хвилі де Бройля не мають нічого спільного із хвилями, якими звикли оперувати в класичній фізиці. У 1926 році М. Борн показав, що хвилі матеріальних об'єктів – частинок, суттєво відрізняються від механічних чи електромагнітних хвиль, оскільки відображають «коливання» ймовірності  $|\psi|^2$  виявлення частинки в одиниці об'єму простору.

У 1927 р. Вернер Гейзенберг сформулював принцип невизначеності, який яскраво продемонстрував, що крім «хвиль матерії» ненаочними також є корпускулярні уявлення про матерію. У своїй праці «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik» він висловив досить цікаву ідею: якщо визначати місцезнаходження частинки, то вона обов'язково отримає певний квант енергії і перейде у збуджений стан, а, отже, її імпульс зміниться порівняно з тим, який мала частинка до вимірювання. Таким чином, при кожному вимірюванні місцезнаходження частинки її імпульс буде змінюватись внаслідок отримання кванта енергії.

Сучасна форма принципу невизначеності має вигляд:

$$\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2},$$

де  $\sigma_x$  – стандартне відхилення вимірюваної координати частинки;  $\sigma_p$  – стандартне відхилення при вимірюваннях імпульсу.

У макрофізиці заведено вважати, що матеріальна точка в заданий момент часу має певну координату і швидкість і, внаслідок цього, її рухові відповідає певна траєкторія. Цей висновок випливає з показів органів чуття людини, тому цілком природно, що рухома частинка в нашій уяві асоціюється з траєкторією, що є сповна наочним. Однак, принцип невизначеності Гейзенберга дозволяє стверджувати, що у мікросвіті частинки не мають траєкторії.

Сподівання, що у фізиці макросвіту, на відміну від квантової теорії, не буде подібних відмов від наочності не виправдались, оскільки з відкриттям Ейнштейнівської теорії відносності (спеціальної, а згодом і загальної теорій), було докорінно змінено усі фундаментальні уявлення про простір і час. Встановлення А. Ейнштейном незалежності швидкості світла від руху джерела, скасувало наочне уявлення про залежність швидкості будь-якого фізичного процесу пов'язаного з перенесенням енергії, від системи відліку. СТВ остаточно перекреслила наочні уявлення про незалежність одночасності, просторових та часових інтервалів та інших властивостей фізичних тіл від системи відліку. В рамках загальної теорії відносності (далі ЗТВ) А. Ейнштейном було показано, що гравітаційне поле має зв'язок із простором-часом і впливає на фізичні процеси. Властивості фізичних тіл залежать від кривини просторово-часового континууму, і, отже, переміщення тіл у просторі призводить до зміни цих властивостей.

Структурно-логічний аналіз понять ЗТВ показав, що нові уявлення про механізм гравітації має протиріччя (суто логічне), яке створює ненаочність пояснення причин гравітаційної взаємодії масивних тіл. Суть аналізу полягав у наступному.

Фундаментальне положення загальної теорії відносності як теорії тяжіння полягає в тому, що потенціал гравітаційного поля створюється масивними тілами. Якщо в певну область простору внести масивне тіло, то в околі цього тіла простір-час буде викривленим, що створюватиме потенціал тяжіння. Такий механізм опису тяжіння не викликає сумнівів щодо наочності, однак пояснення маси як міри гравітаційної взаємодії порушує її. Відповідно до ЗТВ встановлюється тензорний вираз, що описує простір в області дії потенціалів тяжіння, з яких впливає властивість кривини простору-часу, а з цієї кривини пояснюється, що тяжіння є наслідком цієї ж кривини. Отже, таке пояснення не відповідає уявленням «здорового глузду» в контексті локківської філософії і позбавлене сенсу відносно буденної свідомості, тому не може бути сприйнятим на основі чуттєвого досвіду. Слід відзначити, що це зовсім не означає помилковості самої теорії, яка внутрішньо самодостатня і логічно завершена. Проведений аналіз, дозволяє зробити ще один висновок: ЗТВ дає чітку відповідь, чому спроби Ньютона, Ейлера, Лесажу та інших учених розкрити механізм протікання гравітації не мали успіху. Відповідь, з поміж інших можливих, може бути й такою, – всі моделі спиралися на наочні уявлення (наприклад, на концепцію ефіру), однак «структура» гравітаційного поля виявилась досить ненаочною.

На тлі проведеного аналізу розвитку квантової теорії та теорії відносності легко

помітити, що руйнація наочних уявлень має чітку симетрію – обидві теорії практично на самих важливих етапах свого розвитку кардинально відійшли від класичних уявлень. Тому можемо зробити висновок, що сучасна фізична теорія взагалі вирізняється ненаочністю, яка є її характерною особливістю, порівняно з класичними теоріями. Ненаочність як характерна особливість нових теорій має досить глибокі методологічні корені, що звичайно знаходить своє відбиття у дидактичних проблемах наочності, як інструменту утворення чуттєвої тканини з якої утворюється поняття. Зрозуміло, що формування понять у вербальній формі логічного визначення через узагальнення численних даних спостережень відповідно до емпіричного підходу тут просто неможливе, оскільки винесено за межі теорії не як методичний підхід, а генетично відкинута у процесі творення цих теорій. Проблема ненаочності фізичних теорій таким чином створила низку проблем, пов'язаних із методичними особливостями використання наочності як дидактичної категорії. Слід підкреслити, що ненаочність сучасної фізики не повинна накладати заборону на використання дидактичної наочності у процесі вивчення фізики. На користь цієї тези можна навести щонайменше один аргумент. Між засвоєнням понять учнями і пізнавальним процесом як науковим пізнанням попри деяку схожість є суттєва відмінність. Адже змістовно навчальний процес вимагає від понять, що мають бути засвоєними, не лише логічної структури та наукового змісту, а й врахування функціонування особистісного знання. Це викликано ще й тим, що процесуально наукові знання та засвоєні учнями відомості покликані вирішувати різні завдання – пізнавальні для учнів та дослідницькі для науковців.

Підсумовуючи, слід відзначити таке:

З розвитком квантової теорії було запроваджено кардинально нову методологію наукових досліджень. Головною причиною цього став новий тип об'єкта, який значно відрізняється від об'єктів класичної фізики. Загальна картина досліджуваної реальності була необхідна науковцям для визначення стратегії теоретичного пошуку.

Становлення і розвиток квантової механіки в напрямі, відмінному від класичного, змусило вчених звернутися до нового способу побудови наукової картини світу. Найпомітнішу роль у цьому перетворенні відіграв Нільс Бор. Підхід, запропонований ним, полягав у тому, що замість висування гіпотетичних уявлень про механізми явищ, які потім можна було б уточнити як теоретичні гіпотези й експериментально перевірити, пропонувалося аналізувати схеми вимірювання. Це дозволяло виявити теоретичну модель, яка розкриває відповідну структуру природи.

Характерною ознакою цього підходу стала зміна напряму теоретичного дослідження. Для пояснення кількісних залежностей спершу підбирали рівняння із суміжних галузей науки, яке, на думку дослідника, підходило для даного випадку. Потім рівняння інтуїтивно модифікували, узагальнюючи таким чином, щоб отримати нові співвідношення, які відповідали б емпіричним даним. Цей підхід отримав назву методу математичної гіпотези (екстраполяції). Він включає:

1. Підбір математичного рівняння.
2. Його модифікацію відповідно до гіпотетичних припущень.
3. Змістову інтерпретацію отриманого рівняння в термінах розробленої теорії.

Саме метод математичної гіпотези дозволив відкрити основні закони квантової механіки. Водночас застосування цього методу не завжди приводить до однакового



опису об'єкта, навіть якщо вчені поділяють спільні уявлення про його фізичну природу. Наприклад, Ервін Шредінгер для опису руху елементарних частинок використав хвильове рівняння класичної фізики, але дав його членам нову інтерпретацію, створивши хвильовий варіант квантової механіки. Натомість Вернер Гейзенберг узяв за основу канонічні рівняння Гамільтона з класичної механіки, зберігши їх математичну форму, але увів у ці рівняння новий тип величин – матриці, створивши матричний варіант квантової механіки.

Окремо слід підкреслити, що застосування математичної гіпотези не означає відсутності її емпіричної інтерпретації, а лише зміну послідовності побудови рівнянь, які підлягають експериментальній перевірці. У класичній фізиці спочатку створювали теоретико-гіпотетичну модель, на основі якої формулювали математичну модель у вигляді рівнянь, що перевірялися експериментально. У сучасній фізиці цей процес має інакший вигляд: за допомогою екстраполяції спочатку створюють математичні рівняння, а вже потім формулюють правила відповідності, які пов'язують величини цих рівнянь з об'єктами експерименту.

Процес фактологічного опису об'єкта як наочного образу замінюється новою процедурою, яка, власне, також є описом, але у формі абстрактно-логічних висловлювань і тверджень. Науково-теоретичне узагальнення, формалізоване у вигляді математичних рівнянь, формул і законів, дозволило зрештою замінити «наочність» на «опис». У науково-методичній та філософській літературі ці терміни часто використовуються як синоніми, що є виправданим, коли йдеться про методи наукових досліджень у фізиці.

Процедура опису дійсно дозволяє представляти й здійснювати математичне моделювання для досить широкого класу об'єктів (або систем об'єктів): квантово-механічний опис стану системи, аналітичний опис механічного руху матеріальної точки, табличний опис результатів експерименту тощо. Однак у процесі пізнання така заміна руйнує можливість використання наочності як дидактичного інструментарію для формування наукових понять.

Відновити наочність можливо лише за умови зміни логіки побудови квантової теорії, що, втім, виходить за межі завдань методики фізики. Тому таке завдання неможливо виконати, спираючись лише на методологію методичної науки як галузі педагогіки. Лише в тих випадках, коли дослідження науковців базувалися на методології класичної фізики, можливе застосування принципу наочності. Наприклад, це стосується вивчення моделі атома Бора.

Для розв'язання проблеми наочності необхідно відмовитися від традиційних методів формування наукових понять і створити концепцію, що ґрунтується на новій моделі формування понять. Подальші дослідження показують, що пошук таких схем слід здійснювати в межах нових філософських концепцій – емпіризму, критичного раціоналізму та неопозитивізму [4].

На підставі проведеного аналізу, пропонуємо наступні наукові дослідження у методиці навчання фізики, спрямованих на розв'язання проблеми наочності:

- створення навчальних моделей, що спрощують абстрактні концепції, використовуючи аналогії з класичною фізикою;
- використання візуалізацій, інтерактивних симуляцій і доповненої реальності для демонстрації квантових явищ;

- відхід від традиційної схеми викладання, що базується на поступовому ускладненні понять, і перехід до концептуальної перебудови логіки розгортання навчального матеріалу;
- розробка нової методики, яка спирається на сучасні філософські концепції (емпіризм, критичний раціоналізм, неопозитивізм);
- дослідження міждисциплінарної інтеграції, наприклад, використання інструментів інших наук (математики, інформатики, філософії) для кращого розуміння фізичних процесів;
- запровадження курсів або модулів, що знайомлять учнів із методами наукового моделювання;
- створення диференційованих програм для учнів із різними рівнями математичної підготовки;
- використання поетапного ускладнення змісту через фізичні моделі, які вже добре уявлені та засвоєні учнями (наприклад, від моделі атома Бора до корпускулярно-хвильового дуалізму);
- порівняння результативності різних підходів (традиційного, інтерактивного, проблемного навчання) у засвоєнні квантових понять;
- впровадження експериментальних програм із використанням альтернативних методологічних основ.

Вказані напрями досліджень можуть сприяти подоланню «кризи наочності» у викладанні фізики та формуванню більш ефективних методичних підходів з вивчення квантової теорії, СТВ та ЗТВ.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гончаренко С.У. Педагогічні закони, закономірності, принципи. Сучасне тлумачення. Рівне: Волинські береги, 2012. 192 с.
2. Ляшенко О.І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: Логіко-дидактичні основи. Київ: Генеза, 1996. 128 с.
3. Степанов О.М. Педагогічна психологія: навч. посіб. Київ: Академвидав, 2011. 416 с.
4. Терещук С.І. Теоретико-методичні засади навчання квантової фізики у ліцеї: дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.02 Київ, 2020. 457 с.

#### REFERENCES

1. Honcharenko, S. U. (2012). *Pedahohichni zakony, zakonmirmosti, pryntsypy. Suchasne tлумachennia*. Rivne: Volynski oberehy [in Ukrainian].
2. Liashenko, O. I. (1996). *Formuvannia fizychnoho znannia v uchniv serednoi shkoly: Lohiko-dydaktychni osnovy*. Kyiv: Heneza [in Ukrainian].
3. Stepanov, O. M. (2011). *Pedahohichna psykhohohiia: navch. posib*. Kyiv: Akademvydav [in Ukrainian].
4. Tereshchuk, S. I. (2020). *Teoretyko-metodychni zasady navchannia kvantovoi fizyky u litsei*. Doctor's thesis. Kyiv [in Ukrainian].