

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ НАВЧАННЯ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ В СТАРШІЙ ШКОЛІ

Стаття присвячена концептуальним засадам навчання квантової фізики в старшій школі. На підставі проведеного дослідження, показано основні тенденції подальшого розвитку методики навчання фізики, зокрема вивчення учнями старших класів елементів квантової теорії.

Ключові слова: філософія освіти, квантова фізика, компетенції, конструктивізм, критичне мислення.

Розбудова української школи, започаткована в нашій державі наприкінці ХХ століття, відбувається на засадах національного відродження в напрямі, який загалом орієнтований на світові тенденції розвитку освітніх систем. Концептуальні засади навчання квантової фізики визначаються світовими тенденціями розвитку різних систем освіти, і водночас – розвитком сучасної фізичної науки, тобто квантової теорії поля, фізики високих енергій, та їх впливом на філософію науки, яка концептуально вибудовує подальші стратегії розвитку людської цивілізації, а відтак й освіти, як важливої основи існування суспільства.

Роль фізичної науки як однієї з визначальних у творенні поступу суспільства важко переоцінити. Вона має виняткове значення для розвитку науково-технічного потенціалу та промисловості. Проте, фізика, як наука впливає на всі сфери людського знання, і визначає сумарний вектор розвитку цивілізації. У зв'язку з цим, можна стверджувати, що філософські аспекти здобутків фізичних теорій мають вплив на загальні тенденції освіти.

З огляду на це сформулюємо основні концептуальні засади навчання квантовій фізиці, що відповідають сучасним тенденціям розвитку фізичної освіти в загальноосвітній старшій школі.

1. *Переорієнтація освітніх систем з формування фізичних знань, умінь і навичок на формування компетенцій.* У середині ХХ століття розвиток освітніх систем у більшості країн світу характеризувався двома чинниками, які помітно гальмували розвиток освіти в цілому. Перший чинник пов'язаний із відставанням школи від темпів розвитку науки і технологій, коли знаннева база почала швидко зростати, а часу на опанування все більшого обсягу інформації не вистачало. Другий чинник пов'язаний із тим, що школа стала масовою, розрахованою "на всіх". З того часу вказані чинники слугували потужним мотивом до реформування освітніх систем в різних країнах. Сьогодні відбувається зміна парадигми освіти, яка протягом останніх двох століть склалася як освіта індустріального суспільства, яка характеризувалася детермінуванням пізнання, однозначності оцінок, технократичним підходом до вивчення природничо-математичних дисциплін. В освіті відбувається відмова від орієнтації на переважне засвоєння знань, оскільки це не відповідає сучасному соціальному замовленню, яке вимагає виховання самостійних, критично мислячих, ініціативних і відповідальних членів суспільства, здатних працювати в групах і колективно вирішувати соціальні, виробничі та інші значимі для суспільного розвитку завдання. На початку ХХІ століття найбільш розвинуті країни (Велика Британія, Канада, Угорщина та інші країни східної Європи) розпочали ґрунтовну дискусію, яку було продовжено на міжнародному рівні. Предмет дискусії – як учнів озброїти знаннями, уміннями і навичками, щоб це дозволило забезпечити гармонійну взаємодію майбутнього громадянина суспільства із технологіями, що швидко розвиваються [4]. Аналіз шляхів розвитку освітніх систем цих та інших високорозвинених країн показує, що оптимальне вирішення проблеми інтеграції різних освітніх систем до світового освітнього простору, підготовки громадян, здатних швидко адаптуватися до потреб високотехнологічного суспільства, є орієнтація навчальних програм і створення відповідних методик навчання на запровадження компетентнісного підходу. Більшість вітчизняних та зарубіжних вчених вважають, що набуття молоддю знань, умінь і навичок, комплексно об'єднаних в компетентності, сприяє інтелектуальному та культурному розвитку особистості, формуванню в неї здатності швидко реагувати на запити часу.

2. *Превалювання в сучасній філософії освіти ідей конструктивізму.* Упровадження в навчальний процес компетентнісного підходу зрештою трансформує освітній процес у глобальному форматі, коли зміни відбуваються як на рівні окремих методик навчання, методичних систем та навчальних технологій, так і на рівні освітньої парадигми. Остання зазнає докорінної перебудови, наслідком якої є поступова відмова від філософії позитивізму та психологічної теорії біхевіоризму і натомість прийняття освітянською спільнотою сучасних ідей конструктивізму. Конструктивізм як нова філософія освіти уособлює усі прогресивні ідеї, що набули широкого визнання останнім часом у педагогіці – перехід від формування знань до процесу пізнання та набуття компетентностей; від запам'ятовування до розуміння та власного ціннісного ставлення до набутих знань; від репродуктивного мислення до критичного. Теорія конструктивізму, яка поки що існує в зародковому стані, передбачає філософську інтерпретацію освіти наслідком якої буде повне переформатування процесу навчання до рівня суб'єктивного пізнання – учень

виконуватиме функції активного суб'єкта і замість запам'ятовування готової інформації повинен конструювати та вибудовувати власні знання з опорою на існуючі наукові теорії. Таким чином, учень конструє розуміння наукових понять, явищ природи та процесів шляхом їх активного сприйняття через спеціально організовану учителем навчальну діяльність – обговорення у малих групах, участі у диспутах, виконання різних видів практичних завдань тощо. Для успішної реалізації такого підходу передбачається залучення технологій розвитку критичного мислення, інтерактивних технологій кооперативного навчання тощо.

Основні положення конструктивізму базуються на ідеях вільного розвитку (Ж.Ж. Руссо), природовідповідного навчання (Я.А. Коменський), опори на особистий досвід у процесі пізнання (І.Г. Герbart) та перегукуються із положеннями психологічних теорій розвитку особистості Ж. Піаже, Л. Виготського, когнітивною теорією Д. Брунера, теорією діяльності О.Н. Леонтьєва, теорією розвивального навчання В.В. Давидова.

3. У вивченні фізики, зокрема квантової фізики, починають з'являтися прояви інтеграції наук, які є наслідком посилення ідеї еволюціонізму, що останнім часом набула помітного впливу на створення єдиної наукової картини світу. Створення єдиної картини світу відбувається внаслідок переходу сучасної науки (квантової теорії поля) до пост-некласичної стадії розвитку. Аналіз розвитку понять квантової фізики та історії розвитку цієї галузі знань показав, що в останній третині ХХ століття намітилася досить плідна, на наш погляд, тенденція до об'єднання різних картин світу, сформованих різними галузями природничих наук в єдину наукову картину світу. Зокрема, у сучасній філософії науки важливим вважається питання про створення єдиної картини світу на підґрунті трьох основних сфер буття – неживій природі, органічному світові та соціальному житті [1, 2, 3 та інші]. У синтезі наукових знань починають превалювати принципи універсального еволюціонізму, які відіграють роль каталізаторів з об'єднання в єдине ціле ідей системного та еволюційного підходів. Ці принципи не відкидають здобутків кожної окремої науки чи галузі знань, водночас виступають інваріантом відносно різних дисциплінарних онтологій. Від середини 60-х до кінця 80-х років ХХ ст. у системі шкільної фізичної освіти панівною була ідея формування системи знань як основ наук і демонстрації могутності наукових методів пізнання і підкорення Природи. Таке бачення ролі науки було панівним в усіх галузях природознавства, оскільки тривалий час лідируючою наукою виступала фізика, яка традиційно досліджувала фундаментальні структури матеріального світу, а відтак формувала базисні ідеї загальнонаукової картини світу. Проте, як справедливо відзначає В.С. Стьопін, фізика протягом більшої частини своєї історії в явному вигляді не включала до переліку фундаментальних принципів принцип розвитку [3]. Це призвело спочатку до того, що у ХІХ столітті виявилась його парадигмальна несумісність з основними фундаментальними принципами (законами) класичної фізики. Так, Клаузіус, розглядаючи увесь Всесвіт як замкнену систему, сформулював другий закон термодинаміки у вигляді твердження: "Ентропія Всесвіту прямує до максимуму". Отже, за Клаузіусом у Всесвіті зрештою має наступити абсолютна рівновага, за якої ніякі процеси вже не будуть можливими (теплова смерть Всесвіту). Водночас біологія відстоє ідею розвитку: створення в процесі еволюції Всесвіту все більш складніших та впорядкованих живих систем.

З позицій сучасної фізики висновок про теплову смерть Всесвіту отримано шляхом екстраполяції дослідних фактів, що відносяться до обмежених систем, тому підстав для таких узагальнень не існує. Проте, навіть критика концепції теплової смерті Всесвіту Больцманом (висунення флуктуаційної гіпотези), суттєво не змінила ситуацію. Потрібно було здійснити перехід до некласичної фізики – спеціальної теорії відносності і квантової механіки, щоб прийти до еволюційної моделі, згідно з якою Всесвіт може розвиватися неперервно і монотонно, ніколи не досягаючи стану термодинамічної рівноваги. Указаний перехід вимагав спростування також "інфрачервоної смерті" Всесвіту шляхом уведення М. Планком гіпотези про квант найменшої дії, що призвело до створення квантової теорії. Отже, ціла низка наукових революцій (теорія відносності, квантова теорія, теорія нестационарного Всесвіту) призвела до розробки фізиками еволюційної моделі Всесвіту. Згідно з теорією Великого вибуху близько 20 млрд. років тому з точки сингулярності почалося розширення Всесвіту, який був спочатку гарячим і з високою густиною міжзоряної речовини. З плином часу внаслідок розширення Всесвіту, речовина охолоджувалася і конденсувалася в галактики. Галактики дробилися на окремі скупчення, в яких утворювалися зірки, після першого покоління яких синтезувалися важкі елементи. Зірки перетворювалися в червоні гіганти, що викидали речовину у вигляді газово-пилкових хмар – матеріал для утворення нового покоління зірок і т.д. Еволюційна космологія зародилася у працях О.О. Фрідмана, який знайшов нестационарні розв'язки гравітаційного рівняння Ейнштейна і довів можливість існування нестационарного Всесвіту. Проте, виникли значні труднощі з описом стану, який відповідав проміжку часу від першовибуху до світової секунди після нього. Ці труднощі вдалося подолати за допомогою моделі Всесвіту, що роздувається. Дана модель розроблена на стику сучасної космології і квантової фізики. Її ключовим елементом є "інфляційна фаза" – стадія прискореного розширення. Протягом 10–32 с діаметр Всесвіту збільшився у 1050 разів. Після інфляційної фази встановилася фаза з порушеною симетрією, що привело до народження величезної кількості елементарних частинок [5]. Порушення симетрії викликало зміну стану вакууму і у Всесвіті речовина значно переважає антиречовину, що і є власне одним із проявів порушення симетрії. Вказана асиметрія речовини і антиречовини була передбачена фізикою елементарних частинок внаслідок об'єднання моделі Всесвіту, що роздувається та ідей "великого об'єднання" у фізиці високих енергій. Велике об'єднання в

рамках унітарних калібровочних теорій усіх чотирьох фундаментальних взаємодій дозволило описати слабкі, сильні та електромагнітні взаємодії при високих енергіях, а також досягти помітних успіхів у теорії речовини постсингулярного стану (надщільної речовини). Теоретичні дослідження властивостей надщільної речовини показали, що при зміні температури цієї речовини, у ній відбуваються ряд фазових переходів, при яких змінюються властивості елементарних частинок. Отже, існує зв'язок між еволюцією Всесвіту та процесами утворення елементарних частинок. Таким чином, сучасна теорія еволюції Всесвіту створена через поєднання двох теорій – релятивістської космології та квантової теорії. З позиції квантової фізики, Всесвіт – це унікальна лабораторія для перевірки сучасних теорій елементарних частинок [6].

Утвердження положень еволюційної теорії розвитку Всесвіту, які отримали всебічне підтвердження в біології, астрономії, геології та в інших природничих науках, з часом привело до екстраполяції еволюційних ідей на усі сфери дійсності і, зокрема, дозволило розглядати неживу, живу та соціальну матерію як єдиний універсальний еволюційний процес.

Модель нестационарного Всесвіту помітно трансформувала сучасні наукові уявлення про навколишній світ – дозволила включити в наукову картину світу ідею космічної еволюції. У зв'язку з цим серед науковців все частіше висловлюється думка про можливість опису в термінах еволюції неорганічного світу, який вдасться представити на основі законів чи закономірностей в руслі еволюційної теорії і, зрештою, побудувати на такому підґрунті цілісну картину світу. Вказана картина світу кардинально відрізнятиметься від існуючої об'єднанням когнітивних та ціннісних параметрів природничо-наукового пізнання. Це піднімає питання про місце людини в природі, розгляд його не як дослідника, що змінює Природу, а аналіз людської діяльності в функціонуванні історично складених систем, освоєних в людській діяльності та привносить в наукове знання новий гуманістичний сенс [3]. Таким чином, поширення ідей еволюціонізму диктує нові філософські погляди на відносини людина-природа. Природа у загальному розумінні тепер не виступає як об'єкт, на який направлена перетворювальна діяльність людини. Якщо культура техногенної цивілізації передбачала "спілкування" людини з Природою лише у вигляді монологу, то відтепер це має бути діалог.

4. Посилення системного підходу у вивченні квантової фізики. Новий імпульс концепція еволюціонізму отримала після виникнення в 40-50-х роках ХХ ст. загальної теорії систем і розробки на її підґрунті системного підходу. Ідея системного розгляду об'єктів виявилась досить плідною спочатку в біологічній науці і дозволила розробити структурні рівні організації живої матерії, аналіз різноманітних зв'язків в рамках не лише певних систем, а й між системами різної складності. У методиці навчання фізики системний підхід є досить поширеним. Застосування системного підходу у загальному випадку означає виявлення цілісності досліджуваної системи, її взаємозв'язок із оточуючим середовищем, аналіз властивостей складових елементів системи як цілісного утвору та взаємозв'язок між ними. Одним із вдалих застосувань системного підходу у методиці навчання, є відома таксономія Блума.

У дидактиці системний підхід набув нового забарвлення – через застосування принципів дидактики системно, у певному взаємозв'язку. Ця тенденція стала особливо помітною в останні роки, коли принципи дидактики використовуються не послідовно, коли це відбувається у вигляді ряду, а попарно. Така тенденція зумовлена тим, що існує два типи суперечностей, які виникають при застосуванні дидактичних вимог до навчання.

Перший тип суперечностей зумовлений суперечностями, які існують відносно певного принципу. Так, при вивченні теорії будови речовини, наприклад, квантової теорії, важливим є принцип наочності, точне дотримання якого неможливе при вивченні суто квантових об'єктів. Крім цього, принцип наочності має два взаємовиключних положення – необхідність базувати навчання на конкретних образах і вимога розвивати абстрактне мислення учнів. Другий клас суперечностей пов'язаний із різними принципами і характеризують відношення між принципами.

У квантовій фізиці існують об'єкти або явища (процеси), фізичний зміст яких можна усвідомити, якщо розглядати їх системно з іншими об'єктами. До таких понять можна віднести: хвилі де Бройля і невизначеності Гейзенберга; корпускулярно-хвильовий дуалізм та принцип доповнюваності; фотон та величини що його характеризують (імпульс, енергія, швидкість); маса елементарних частинок та інші параметри і реакції їх взаємних перетворень тощо. Врахування цього положення має бути обов'язковою умовою викладання фізики елементарних частинок, квантової фізики, будови атомного ядра. Проте, вказаний принцип має також суто методичне спрямування. Важливо не просто подавати відомості про елементарні частинки, ядерні реакції, відкриття протона та ін., а пов'язувати ці відомості у систему із такими елементами, як особистісна значимість даної інформації для окремого учня, суспільна значимість цих відомостей тощо. Це дозволить по-перше диференційовано викладати навчальний матеріал, а по-друге формувати не лише знання чи певні уявлення, а ключові та предметні компетенції.

5. У вивченні квантової фізики починають переважати відомості про сучасні технології (інформаційні технології, нанотехнології, технології передачі інформації тощо). У зв'язку з цим, вивчення фізики необхідно узгоджувати із зростаючим впливом новітніх інформаційних, наприклад, інтернет-технологій. Для цього доцільно показувати зародження цих технологій та їх зв'язок з основами наук, зокрема з квантовою фізикою. Також корисно демонструвати вплив цих технологій на розвиток науки в цілому, вплив громадської думки на поступ наукових досліджень; зміну наукових стратегій у зв'язку з екологічними проблемами тощо. Високий рівень технологій пов'язаний ще й з тим, що темпи

розвитку фізики, в сенсі революційних наукових відкриттів, останнім часом помітно знизились. Серед науковців існує оптимізм щодо майбутнього "прориву" у дослідженнях фізики. Принагідно навести слова відомого вченого Шелдона Лі Глешоу (один із лауреатів Нобелівської премії з фізики у 1979 році за внесок у теорію електрослабких взаємодій): "Ми не знаємо, чому частинки існують, чому вони мають конкретну масу, чому вони піддаються діям певних сил. Наша стандартна модель нічого не продукує: вона лише повідомляє, що у даному контексті відповідей немає. Більше того, наша "велика об'єднувальна" теорія, насправді, і невелика (час життя протона визначено неправильно), і не об'єднувальна (гравітація до неї не входить); і теорією, як такою вона теж не є (вона не вирішує жодну із вказаних загадок)" [7, с. 11]. І далі: "Квантова теорія поля, союз квантової механіки і спеціальної теорії відносності, в тому вигляді, в якому його представив Дірак, Швінгер, Фейнман, Томонага та інші, чудово слугувала нам понад 40 років і допомогла створити стандартну модель фізики частинок. Проте і вона зайшла в глухий кут: вона не здатна описати гравітацію, а тому не спроможна пояснити перші моменти народження Всесвіту. Квантова теорія поля також не спромоглась відповісти на жодне з сучасних питань, пов'язаних з частинками" [там само, с. 12].

Відомий американський фізик-теоретик Смолін Лі, фахівець з квантової гравітації, і в минулому один з розробників теорії струн, відомий своєю критикою цієї ж теорії, відзначає: "У спадок ми отримали фізику, яка прогресувала настільки швидко і настільки довго, що часто приймалась за взірць того, як мають діяти інші галузі наук. На протязі більш ніж двох століть і до сьогодні наше розуміння законів природи швидко поглиблювалося. Однак, сьогодні, не дивлячись на усі зусилля, те, що ми достовірно знаємо про ці закони, не перевищує того, що ми знали про них в 1970-ті роки" [8, с.11]. Такий стан розвитку фізичної науки визнається багатьма вченими. Сучасний розвиток науки в більшій мірі спрямований на "технологічний" розвиток. Якщо XIX століття і початок XX століття можна назвати "епохою наукових революцій", то кінець минулого століття і початок XXI століття можна назвати початком "епохи технологій". На цьому тлі фізичні теорії варто вивчати у контексті їх техніко-прикладного застосування.

Використані джерела

1. Казютинский В.В. Вселенная в научной картине мира и социально-практической деятельности человечества // Философия, естествознание, социальное развитие. – М., 1989. – С. 199-213.
2. Моисеев Н.Н. Логика универсального эволюционизма и кооперативность // Вопросы философии. – 1989. – № 8. – С. 53-55.
3. Степин В.С. Философия науки. Общие проблемы: учебник для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук / В.С. Степин. – М.: Гардарики, 2006. – 384 с.
4. Пометун Олена. Компетентнісний підхід – найважливіший орієнтир розвитку сучасної освіти / О.І. Пометун // Рідна школа. – 2005. – січень. – С. 65-69.
5. Гут А.Г., Стейнхардт П. Дж. Раздувающаяся Вселенная // В мире науки. 1984. №7. – С. 59-62.
6. Линде А.Д. Раздувающаяся Вселенная // Успехи физ. наук. 1984. Т. 144. Вып. 2. С. 177-214.
7. Глэшоу Ш.Л. Очарование физики. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2002, 336 с.
8. Смолин Л. Неприятности с физикой: взлет теории струн, упадок науки и что за этим следует / Ли Смолин. Перевод Юрий Артамонов. М., 2007. – 435 с.

Tereshchuk S.

CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF QUANTUM PHYSICS EDUCATION IN HIGH SCHOOL

The article is devoted to conceptual learning the principles of quantum physics in high school. Based on the study shows the main trends of further development of methods of teaching physics, including the study of high school students the elements of quantum theory.

The study of physics should coordinate with the growing influence of new information, such as Internet technology. For this purpose show the origin of these technologies and their relationship with the basics of science, particularly quantum physics. It is also useful to demonstrate the impact of these technologies on the development of science in general, the impact of public opinion on the progress of scientific research; changing research strategies in relation to environmental issues and more. The high level of technology is also related to the fact that the pace of development of physics in the sense of revolutionary scientific discoveries in recent years significantly decreased. Modern development of science in largely aimed at "technological" development. If the nineteenth century and early twentieth century can be called the "age of scientific revolutions", the end of the last century and the beginning of the 21st century can be called the beginning of "the era of technology." Against this background, the physical theory should study in the context of their technical and application use.

The theory of constructivism, which still exists in its infancy, involves a philosophical interpretation of the education effect of which will be complete reformatting of the learning process to the level of subjective knowledge – student serve as an active subject and instead finished memorizing information must design and build their own knowledge based on existing scientific theories.

Key words: *educational philosophy, quantum physics, competence, constructivism, critical thinking.*

Стаття надійшла до редакції 01.06.2015