

В. І. Кульчицький

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ФІЗИЧНИХ ПОНЯТЬ В УЧНІВ ПРОФІЛЬНИХ КЛАСІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

Стаття присвячена проблемі формування системи фундаментальних фізичних понять в учнів профільних (фізичних, фізико-математичних, фізико-технічних) класів у процесі вивчення розділу «Електродинаміка» на основі принципів сучасних фізичних теорій. Розроблено науково-методичний підхід формування в учнів профільних класів фундаментальних фізичних понять на основі фундаментальних фізичних принципів симетрії, відносності, невизначеності, імовірності з точки зору сучасних фізичних теорій.

Ключові слова: фундаментальні фізичні поняття, профільні класи, електродинаміка, симетрія, відносність, невизначеність, імовірність, електромагнітна взаємодія.

Однією з кардинальних змін фізичної освіти в школі стає її методологічна спрямованість. Необхідність наукового осмислення концептуальних положень нового сучасного курсу шкільної фізики, його можливих структур, змісту, конструювання навчального матеріалу навколо фундаментальних фізичних понять (ФФП) та принципів, обґрунтування відповідної методики навчання є актуальними теоретичними і практичними потребами. На це й націлює Державна національна програма «Освіта (Україна XXI століття)». Виходячи із концептуальних основ державного стандарту фізичної освіти, розроблена нова навчальна програма «Фізика. Астрономія, 7-11 кл.». Виникає потреба, щоб наука була для учнів профільних класів не переліком відкриттів чи сумою формул, а способом мислення в процесі пізнання оточуючого світу.

Програма профільного навчання фізики передбачає систематизоване вивчення основних фізичних теорій, формування світогляду і наукового стилю мислення учнів на основі фізичної картини світу, оволодіння методами наукового пізнання та усвідомлення фізичного знання на рівні, необхідному для подальшого його використання у професійній діяльності та продовженні фізичної освіти. Основними профілями навчання, де фізика вивчається на такому рівні, є фізичний, фізико-математичний і фізико-технічний.

Теоретичне обґрунтування вивчення основ сучасної фізики у школі та формування в учнів наукового способу мислення розглядалися у дисертаційних дослідженнях: О.І. Бугайова, Б.С. Будного [2], Л.Ю. Благодаренко, С.У. Гончаренка, О.І. Іваницького, Є.В. Коршака [6], О.А. Коновала [5], О.І. Ляшенка, М.Т. Мартинюка, В.В. Мултановського, А.І. Павленка, В.І. Савченка, Б.А. Суся, М.І. Садового, М.І. Шута [11] та інших.

Високо оцінюючи проведені в цьому напрямку дослідження, необхідно, проте, відмітити, що ряд питань формування фундаментальних фізичних понять (ФФП) і принципів у курсі електродинаміки для профільних класів не знайшли належного розв'язання. Не одержують завершення знання учнів про властивості мікрооб'єктів, про співвідношення між законами квантово-релятивістської та класичної фізики, немає розуміння об'єктивного характеру статистичних закономірностей та їх зв'язку з динамічними закономірностями, вивчення електродинаміки не базується на принципах сучасної фізики (симетрії, невизначеності, імовірності, відносності і ін.), хоча вони є доступні і суттєво впливають на формування наукового способу мислення учнів.

Проте принципове завдання полягає не тільки в тому, щоб знайти місце для ФФП та принципів в існуючому курсі електродинаміки для профільних класів, а у методології сучасної фізики. Це завдання ускладнюється тим, що методологія сучасної фізики не може бути перенесена механічно у навчальний процес, а потребує трансформації до такого виду, щоб її можна було ефективно використовувати у педагогічних цілях.

Тому **метою статті** є розробка науково-методичного підходу формування в учнів профільних класів фундаментальних фізичних понять (ФФП) на основі фундаментальних фізичних принципів симетрії, відносності, невизначеності, імовірності у процесі вивчення розділу «Електродинаміка» з точки зору сучасних фізичних теорій.

Зупинимось на основних моментах підходу, який ми пропонуємо.

Кожна наука відображає предмет свого дослідження в поняттях. При цьому діалектика пізнання така, що нове знання постає в оболонці старих понять, а тому кожна така оболонка може виявитися надто вузькою для того, щоб включити в себе нові знання. В результаті постає питання про перегляд понять, їх уточнення або переосмислення.

Можна припустити, що причина труднощів, які виникають при засвоєнні кожної нової теорії, завжди одна і та ж: спроба представити нову теорію в поняттях тих ідей, які існували раніше. Так, Максвелл у передмові до «Трактату про електрику і магнетизм» писав, що докладі всіх зусиль для того, щоб представити якомога ясніше співвідношення між математичною формою цієї теорії і математичною формою фундаментальної науки про динаміку, щоб можна було в якійсь мірі підготуватися до вибору тих динамічних явищ, які використовуватимуть для пояснення явищ електромагнітних [8]. Він все ще намагався подати свою теорію (як стало зрозуміло потім, фундаментальну теорію) мовою фундаментальної класичної механіки Ньютона. Здавалося, що зрозуміти і наочно представити електромагнітне поле інакше, як в термінах механічної моделі, неможливо.

Традиційний підхід до побудови наукових теорій спирається на розуміння фізичної теорії як гіпотетико-дедуктивної системи, що будується на аксіоматичній основі [1; 2, с. 76]. Однак методологічні дослідження [2, с. 82-90; 4; 5, с. 32-64; 7 с. 22-25; 11] свідчать, що логіко-дедуктивна структура фізичної теорії пов'язана із виведенням сукупності наслідків з основних рівнянь теорії і є складним інтуїтивним процесом. Щоб виявити істотні моменти в розвитку понятійної форми мислення, коротко проаналізуємо основні тенденції розвитку поняття симетрії у фізиці.

Відкриття спеціальної теорії відносності створило необхідні передумови для розвитку теоретико-інваріантного підходу в фізиці. Створення загальної теорії відносності і розробка концепції збереження на загальнорелятивістській основі підготували новий етап в розвитку вчення про симетрію – становлення теорем Е.Нетер, які відкривають глибоку єдність симетрії і збереження, а разом з тим і фундаментальну роль принципу симетрії у сучасній фізиці.

Взаємозв'язок симетрії і збереження, як відмічав В.П.Вігін, у межах класичної фізики має місце лише при умові, що фізична система має варіаційну структуру і об'єднуються не два фундаментальних класи принципів фізики (принцип симетрії і закони збереження), а три – симетрія, збереження, екстремальність [3; 12]. Найбільш загальним вираженням взаємозв'язку цих класів фізичних принципів і є теорема Нетер [3; 12], встановлені у 1918 р.

Подальший розвиток вчення про симетрію тісно зв'язаний з виникненням квантової механіки, квантової теорії поля і фізики елементарних частинок. На цьому шляху були досягнуті наступні принципово важливі результати: по-перше, встановлені нові форми симетрії, зв'язані з дискретними групами (симетрія С, Р, Т) і виявлені відповідні їм закони збереження [2, с.21-27; 12].

По-друге, розвинутий варіаційний формалізм для хвильових полів і створена на його основі схема канонічного квантування в теорії поля. «При такому підході першочергове значення набрали і теорема Нетер, на яких базувалося

введення динамічних змінних, класифікація законів збереження і т.д.» [3, с. 205; 12]. На цій базі у квантовій теорії поля і фізиці елементарних частинок були встановлені різні динамічні (калібрувальні, ізотопічні) симетрії і відповідні їм закони збереження. Узагальнення ізотопічної симетрії привело до встановлення унітарної симетрії, на основі якої була здійснена систематизація сильно взаємодіючих частинок [2, с. 67-76; 12].

По-третє, виявлено наближений характер багатьох динамічних симетрій. Наближені співвідношення симетрії «можуть виконуватися з великою точністю, при однакових умовах і істотно порушуватися при інших. Критичні умови можуть залежати від стану об'єкта і визначати тип явища» [3, с. 56; 12]. Відносний характер форм динамічної симетрії вказує на їх єдність з асиметрією. Відомо, що найбільш важливі результати в фізиці досягались саме тоді, коли встановлювались умови порушення симетрії і асиметрії [2, с.25; 12].

Отже, виступаючи в єдності з принципом інваріантності і структурності, принцип симетрії сприяє інтеграції, мінімізації знання, забезпечує пояснювальну, передбачувальну силу теоретичного узагальнення. Гносеологічна функція принципу симетрії у сучасній науці тісно зв'язана з методами ідеалізації, формалізації, моделювання, аналогії, математичної гіпотези і ін. Принцип симетрії представляє істотну логіко-методологічну передумову побудови фізичної теорії [1; 2, с. 6-18; 12].

Проведений нами аналіз етапів становлення класичної та квантової електродинаміки (КЕД), свідчить, що для них характерний не аксіоматичний, а конструктивний (генетичний) підхід до побудови теорії [2, с. 76; 7, с. 47-55].

Так, наприклад, побудова квантової електродинаміки (КЕД) – це не виведення ряду наслідків з чітко сформульованих принципів, а послідовний ряд операцій, у результаті яких відбувається поступова побудова теорії. На вищих етапах цього процесу деякі попередні етапи розглядаються як допоміжні, а тому на завершальній стадії побудови теорії відкидаються. Вихідним пунктом побудови КЕД є максвеллівська теорія вільного електромагнітного поля. Потім ця теорія трактується так, що поле розглядається як дискретна система з нескінченною кількістю ступенів вільності. Після цього проводиться процедура вторинного квантування, за допомогою якої поле зіставляється з квантами енергії (фотонами) і вводяться оператори народження і знищення частинок. Далі, спираючись на формалізм електромагнітного і електронно-позитронного квантових полів, будується теорія їхньої взаємодії. При цьому необхідно проводити процедуру перенормування. Така побудова теорії мало чим нагадує дедуктивні висновки [7, с. 18].

При цьому для нас суттєво, що у побудовах сучасних фізичних теорій особливе місце відводиться «конструктам», основним структурним елементам фізичних теорій – ФФП, які визначають структуру теорії, характер і спосіб взаємодії, що дозволяє використовувати їх як універсальні засоби пізнання. Тому ми пропонуємо, що синтезуючими і генералізуючими узагальненнями шкільного курсу електродинаміки у профільних класах можуть виступати ФФП та принципи, як логічна основа структури і змісту шкільного курсу електродинаміки для профільних класів. Це дозволяє зблизити у профільних класах навчання з науковим пізнанням та у деякій мірі зняти протиріччя між ними, яке полягає у невідповідності між рівнем засвоєння мови науки як цілого, адекватного всій системі знань, і поясненням частини, що враховує ціле.

Відбір навчального матеріалу і його вивчення будують зараз відповідно до виділеної структури фізичної теорії (основа, ядро, висновки), а при формуванні мислення – до схеми циклу пізнання і методичного принципу циклічності. Такий підхід ґрунтується на аналізі класичних фізичних теорій, для яких характерний аксіоматичний метод побудови. Вивченню відношень, в яких поряд із змістом і значенням враховується можливість перевірки, застосування, узагальнення і розвитку теорій, не приділяється належної уваги. Дуже виразно це прослідковується у трактуванні принципу відповідності, який у найбільш загальному вигляді формулюють так: з появою нової теорії стара теорія

не відкидається, а зберігає своє значення для попередньої області явищ як гранична форма і частковий випадок нової теорії [9; 10]. Але, як показано у [1; 2, с. 80-84; 4; 5, с. 10], суттєвим для всякої заміни теорій є те, що нова теорія веде до зміни всієї «понятійної сітки», всього концептуального апарату старої теорії.

Дійсно, якщо врахувати, що у процесі наукової революції частина ФФП просто відкидається (поняття «траєкторії» у квантовій механіці, «абсолютної одночасності» у релятивістській фізиці і т.д.), pojawiaються нові ФФП, а частина понять радикально змінює свій зміст, тоді не можна говорити про послідовність і наступність фізичних теорій на концептуальному рівні.

В педагогічній літературі, розглядаючи «розвиток понять», по суті, мають на увазі додавання нових ознак поняття до тих, які вже сформовані раніше [7, с. 42-47]. В рамках однієї фізичної теорії такий підхід не викликає принципів заперечень (він відповідає накопиченню знань в рамках існуючої парадигми). Але спроба формувати в такий спосіб наскрізні поняття (енергія, поле, випромінювання, і т.д.) веде до труднощів принципового характеру.

Аналіз змін, які відбуваються у змісті понять при переході від електродинаміки Максвелла до квантової електродинаміки, від класичної до квантової механіки, (при збереженні тієї ж назви понять) свідчить, що поступовий розвиток понять за таких умов неможливий, оскільки pojawiaються ознаки, які суперечать раніше засвоєним: дискретність зміни енергії системи, локалізація енергії випромінювання, взаємодія і т.д. [7, с. 42-47; 10].

Відтворення у навчанні шляху, що мав місце при історичній зміні фізичних теорій виявляється теж малоефективним, оскільки тоді треба забезпечити умови неконструктивного переходу [5, с.11].

Підхід, коли спочатку поняття пропонують формувати на емпіричному рівні, а потім (у старших класах) трансформувати їх до рівня теоретичного [5, с. 9-14; 6] веде до принципів труднощів, бо вимагає зміни способу мислення, а отже, заміни всієї «понятійної сітки». Але і загальноприйнятий підхід до формування теоретичних узагальнень (через представлення всіх їх суттєвих ознак одночасно) для формування ФФП нездійснимий [5, с. 9; 6; 11].

Тому ми пропонуємо формувати ФФП як теоретичні узагальнення при збереженні їх емпіричної основи – повсякденних уявлень.

Якби мета навчання фізики співпадала з ціллю фізичних досліджень, то включення цієї системи понять у навчальну систему було б очевидним. Але реально таке співпадання неможливе [5, с. 9; 9]. Тому виникає потреба конструювання навчальної системи ФФП. На основі виділеної з науки системи ФФП конструюється матриця навчальної системи ФФП [2, с. 92; 7, с. 52-54]. Вона включає такі поняття: симетрія, відносність, імовірність, невизначеність, фундаментальні частинки, фізичний вакуум, фундаментальні взаємодії, поле, речовина. Матриця проектується на виділений в програмах зміст, виділяється лінія трансформації повсякденних уявлень, через поняття-елементи і поняття-комплекси до фундаментальних фізичних принципів для дослідження широкого кола явищ різної природи (зверху – вниз). Систему ФФП і зв'язків з їх структурними елементами, на основі вище сказаного, можна зобразити у вигляді орієнтованого графа з впорядкуванням його вершин типу матриці (рис. 1). Де вершини m_i – ФФП, а вершини n_{ik} – структурні елементи основних понять. ФФП, функціональні і логічні зв'язки між ними є макроскопічним, інваріантом моделі фізики, а схема зв'язків і логічних відношень між структурними елементами ФФП – мікроструктурний інваріант моделі (рис. 1).

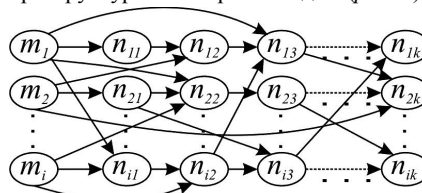


Рис. 1

В такому представленні графа добре видно зв'язки і логіку вивчення ФФП (m_i елементи – рух по стовбці), а також їх зв'язки із структурними елементами. В процесі поетапного розкриття структурної моделі науки, ФФП «об'єднують» від етапу до етапу все новими і новими структурними елементами, функціонально-структурними зв'язками і логічними відношеннями між ними. Матриця ФФП, а також інваріантні зв'язки і відношення між її елементами в сукупності утворюють структуру навчальної системи знань з фізики. На наш погляд, вона є визначальною для всіх інших структур (теорії, закони, явища, поняття) і взаємозв'язана з ними та слугує основою для побудови структурно-логічних схем вивчення розділу «Електродинаміка» для профільних класів [7, с. 52-55].

В методології фізики виділяють ряд принципів, які утворюють систему та визначають структуру і розвиток фізичного знання: симетрії, збереження, відносності, відповідності, доповняльності, невизначеності, єдності фізичної картини світу, пояснення. З трьох фундаментальних ідей сучасної фізики (відповідності, невизначеності, доповняльності) вибудовується своєрідний трикутник, вершиною якого є принцип симетрії (рис. 2). Принципи доповняльності, невизначеності, відповідності, відносності та збереження об'єднуються принципом симетрії в єдину структуру, яка стала фундаментом єдності фізичної картини світу. В свою чергу, остання є основою методологічного принципу пояснення, з яким зв'язані всі інші методологічні принципи [2, с.91-96]. Локальним симетріям ставляться у відповідність певні взаємодії, і принцип симетрії стає природно зв'язаний з концепцією взаємодії поля. Якщо виходити з положення про те, що єдність формування наукового світогляду і наукової картини світу досягається через засвоєння системи їх принципів [5, с.12; 6; 11], об'єднання матеріалу навколо фундаментальних ідей сучасної фізичної науки, то формування ФФП не тільки є необхідним елементом формування сучасної ФКС, але сприяє такій організації навчального матеріалу, при якій найбільш повно розкривається структура і логіка сучасної фізичної науки, статус понять і законів, формування наукового світогляду.

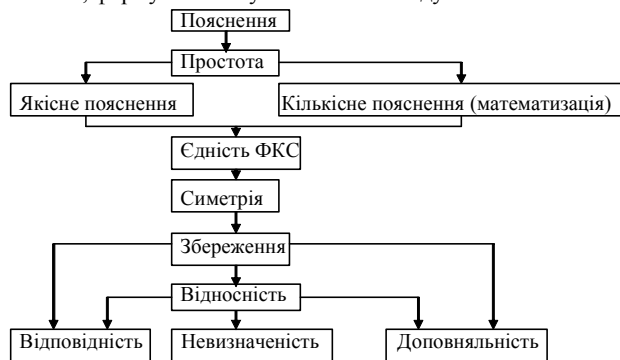


Рис. 2

Проведене нами дослідження [7] показало доцільність такого методичного підходу, в якому б поєднувалися дві взаємозв'язані лінії структурування навчального матеріалу – на основі фундаментальних фізичних принципів і фундаментальних фізичних понять. Перша з них передбачає цілісний розгляд об'єктів і явищ як стосовно їх внутрішньої природи, так і методів пізнання. Друга – цілеспрямоване формування на основі повсякденних уявлень таких понять-

елементів і понять-комплексів, які визначають індуктивні основи фізичних теорій.

Висновки. Розроблений науково-методичний підхід формування в учнів профільних класів фундаментальних фізичних понять на основі фундаментальних фізичних принципів симетрії, відносності, невизначеності, імовірності з точки зору сучасних фізичних теорій у процесі вивчення розділу «Електродинаміка» дає змогу визначити дидактичні основи вдосконалення фізичної освіти; оптимізувати зміст курсу «Електродинаміка» для профільних класів на основі ФФП та принципів сучасних фізичних теорій, вдосконалити організацію навчального процесу, підвищити якість навчання учнів, визначити шляхи формування в учнів профільних класів наукового способу мислення.

Список використаних джерел:

1. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое / В. Гейзенберг. – М.: Наука, 1990. – 400 с.
2. Будний Б.Є. Формування в учнів системи фундаментальних фізичних понять / Б.Є. Будний. – К.: Інститут пед. АПН України, 1996. – 200 с.
3. Визгин В. П. Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике / В.П. Визгин. – М.: Наука, 1972. – 240 с.
4. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики / М. Джеммер; пер. с англ.; под ред. Л.И. Пономарева. – М.: Наука, 1985. – 384 с.
5. Коновал О. А. Теоретичні та методичні основи вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності: монографія / О.А. Коновал; МОН України; КДПУ. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009. – 346 с.: іл.
6. Коршак С. В. Фізика, 10 кл.: [підруч. для загальноосв. навч. закл.] / С. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К.; Ірпінь: ВТФ «Перун», 2003. – 312 с.: іл.
7. Кульчицький В. І. Формування фундаментальних фізичних понять в учнів профільних класів у процесі вивчення електродинаміки: дис. ... канд. пед. наук: спец. 13.00.02 «Теорія та методика навчання (фізика)» / Віктор Іванович Кульчицький. – К., 2010. – 235 с.
8. Максвелл Д.К. Трактат об електричестві і магнетизмі / Д.К. Максвелл. – М.: Наука, 1989. – 416 с.
9. Паулі В. Теорія відносності / В. Паулі; пер. с англ. – [3-е изд.]. – М.: Наука, 1981. – 328 с.
10. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Электродинамика / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1966. – Т.6. – 344 с.
11. Шут М.І. Електрика та магнетизм: [навч.-метод. посіб. для самост. роботи] / М.І. Шут. – К., 2002. – 236 с.
12. Эллиот Дж. Симметрия в физике / Дж. Эллиот, П. Добер. – М.: Мир, 1983. – 360 с.

The article is dedicated to formation of the system of fundamental physical notions in the pupils of specialized classes (physical, physical-mathematical, physical-technical) in the process of study of the chapter “Electrodynamics” on the basis of the principles of modern physical theories. A scientific-methodical approach is worked out to form in pupils of the specialized classes of fundamental physical notions on the basis of fundamental physical principles of symmetry, relativity, indeterminacy and probability from the point of view of modern physical theories.

Key words: fundamental physical notions, specialized classes, Electrodynamics, symmetry, relativity, indeterminacy, probability, electromagnetic interaction.

Отримано: 18.06.2011