

Міністерство освіти і науки України
Уманський державний педагогічний університет
імені Павла Тичини

Терещук С.І.

**Теоретико-методичні основи навчання
квантової фізики в старшій школі**

Монографія

Умань 2018

УДК 37.016:53(020)

Т35

Рекомендовано до друку Вченою радою
Уманського державного педагогічного університету
імені Павла Тичини
(протокол №11 від 15 травня 2018 року)

Рецензенти:

Мартинюк О.С., доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри експериментальної фізики та інформаційно-вимірювальних технологій, Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк.

Сиротюк В.Д., доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри теорії та методики навчання фізики і астрономії, НПУ імені М.П. Драгоманова, м. Київ.

Ткаченко І.А., доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри фізики і астрономії та методики їх викладання, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань.

Терещук С.І.

Теоретико-методичні основи навчання квантової фізики в старшій школі : монографія / С.І. Терещук; МОН України, Уманський держ. пед. ун-т ім. Павла Тичини. – ВПЦ «Візаві», 2018. – 286 с.

У монографії розглянуто теоретичні та методичні основи вивчення квантової фізики у старшій школі (11 клас).

Викладено результати багаторічних досліджень особливостей вивчення учнями старшої школи відомостей з квантової оптики, будови атома та атомного ядра на основі розвитку критичного мислення.

Запропоновано компетентнісно орієнтовану методичну систему навчання квантової фізики з використанням інноваційних технологій навчання. В рамках даної методичної системи запропоновано нову схему вивчення квантової фізики в старшій школі, що відповідає гіпотетико-дедуктивній концепції пізнання та заснована на критичному раціоналізмі.

Для науковців, учителів і методистів, студентів фізичних відділень вузів педагогічного профілю.

©Терещук С.І.

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ I. Тенденції розвитку навчання квантової фізики в профільній школі	
1.1. Короткий огляд історико-генетичного розвитку квантових уявлень в старшій школі: змістові лінії та основні методичні ідеї	11
1.2. Сучасні тенденції розвитку методичної системи навчання квантової фізики в старшій школі.....	35
1.3. Психолого-педагогічні особливості формування фізичних понять квантової фізики.....	52
Висновки до розділу I.	67
Розділ II. Компетентнісно орієнтовані технології навчання квантової фізики як складова методичної системи	
2.1. Поняття компетентнісно орієнтованої технології навчання...	71
2.2. Аналіз методичних особливостей компетентнісно орієнтованих технологій навчання квантової фізики.....	74
2.2.1 Технологія розвитку критичного мислення	74
2.2.2. Технологія мобільного навчання	93
2.2.3. Інтерактивні технології кооперативного навчання	108
2.3. Технологія змішаного навчання	129
Висновки до розділу II	137
Розділ III. Методичні засади профільного навчання квантової фізики	
3.1. Поняття і структура методичної системи навчання квантової фізики у курсі старшої школи	139
3.1.1. Цілепокладання як складова методичної системи формування навчально-пізнавальних компетентностей у старшокласників.....	156
3.1.2. Особливості компетентнісно-орієнтованої методичної системи навчання квантової фізики.....	163
3.1.3. Технологія проектування методичної системи формування предметної компетентності старшокласників з квантової фізики	171
3.2. Зміст методичної системи вивчення квантової фізики в умовах профільного навчання.....	183

3.2.1. Методичні ідеї та змістові лінії викладу навчального матеріалу з квантової фізики при формуванні критичного мислення.....	183
3.2.2. Зміст методів навчання квантової фізики в старшій школі	188
3.3. Засоби навчання як складова методичної системи вивчення квантової фізики	196
Висновки до розділу III.....	205
 Розділ IV. Вивчення квантової фізики через застосування технології змішаного навчання	
4.1. Методичні особливості формування критичного мислення при вивченні теми «Квантова оптика» у курсі фізики 11 класу...	208
4.2. Методика формування навичок критичного мислення при вивченні теми «Будова атома».....	221
4.3. Методика розвитку критичного мислення при вивченні теми «Елементарні частинки»	236
Висновки до IV розділу	251
Загальні висновки.....	253
Список використаних джерел.....	258

Вступ

Актуальність теми дослідження. Стратегія реформування освіти в старшій школі висвітлена в Законі України «Про освіту», Концепції нової української школи та Концепції профільного навчання в старшій школі.

Згідно концепції «Нова українська школа. Основи стандарту освіти», сучасна школа має започаткувати формування демократичної культури серед школярів шляхом впровадження демократичних цінностей, створення атмосфери довіри і взаємоповаги, підкреслення цілісності людської особистості у трьох важливих сферах (Я-«Відчуваю», «Думаю», «Дію»), що відповідає інтелектуальному, духовному та фізичному розвитку дитини. Цим документом передбачається, що Україна в майбутньому — держава новітніх технологій, а тому саме в новій школі мають бути створені умови щодо достатнього простору і можливостей для творчості учнів на основі застосування сучасних засобів ІКТ, мобільних та хмарних технологій тощо.

Останніми нормативно-правовими документами про освіту передбачається, що функціонування старшої школи повинно відбуватись як профільної, що дасть змогу створити сприятливі умови для врахування індивідуальних потреб, особливостей та інтересів учнів, формування у них орієнтації на той чи інший вид майбутньої професійної діяльності.

Одним з важливих напрямків модернізації освіти у вказаному вище аспекті, є упровадження компетентнісного підходу до формування змісту освіти у вітчизняній школі. Компетентнісний підхід — один з найвагоміших чинників модернізації фізичної освіти. Поєднання його із низкою інновацій та класичних підходів, виступає запорукою реалізації сучасних освітніх цілей, які окреслені на рівні міжнародних організацій (Ради Європи, Організації економічного співробітництва та розвитку та інших) та відображені у проекті «Освітня політика та освіта «рівний — рівному»» в рамках Програми розвитку ООН.

Формування теоретичних і методичних засад навчання фізики у загальноосвітніх навчальних закладах знайшло відображення в дослідженнях вітчизняних і зарубіжних учених, зокрема П.С. Атаманчука, О.І. Бугайова, Б.Є. Будного, С.П. Величка, С.У. Гончаренка, Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, М.Т. Мартинюка,

В.Ф. Савченка, М.І. Садового, О.В. Сергєєва, В.П. Сергієнка, Н.Л. Сосницької, М.І. Шута, А.В. Усової та інших.

Розв'язання проблем навчальної діяльності, її структури та спрямованості на формування наукових понять, умінь і навичок в психологічному контексті досліджували Л.С. Виготський, П.Я. Гальперін, О.І. Кабанова-Меллер, О.М. Леонтнєв, Н.О. Менчинська, С.Л. Рубінштейн, та багато інших.

У дослідженнях М.О. Данилова, І.Я. Лернера, М.І. Махмутова, І.Т. Огороднікова, О.Я. Савченко, М.М. Скаткіна та інших учених-дидактів доведено, що навчальна діяльність виступає засобом усвідомлення знань і засвоєння навчального матеріалу, набуття вмінь і компетентностей.

На теоретичному й методологічному рівнях проблема організації компетентнісно-зорієнтованої діяльності досить ґрунтовно висвітлена у дослідженнях, українських і зарубіжних учених, зокрема Н.М. Бібік, О.І. Локшиної, О.І. Ляшенка, Л.І. Паращенко, О.І. Пометун, О.Я. Савченко, А.В. Хуторського, С.Є. Шишова та інших.

Незважаючи на широкий і багатоплановий характер досліджень, присвячених загальним питанням формування ключових, міжпредметних та предметних компетентностей, даний напрямок наукових розвідок залишається й нині сповна актуальним і на часі, оскільки передбачає відходження від знаннєвої парадигми, яка тривалий час була панівною в методиці навчання фізики. Натомість компетентність як мета освіти передбачає поєднання знань, умінь, навичок, способів мислення, цінностей, особистих якостей учня.

Традиційно, методика навчання фізики була націлена на формування знань із системою складних наукових понять. Упродовж тривалого часу переважала циклічна схема засвоєння навчального матеріалу, яка у філософському контексті відзеркалювала емпірично-індуктивний підхід: експериментальні факти — модель — теоретичне узагальнення — експериментальне підтвердження теоретичних висновків (В.Г. Разумовський, А.В. Усова). Згідно вказаної схеми виклад нового матеріалу певної теорії розпочинався із дослідних фактів через демонстрацію відповідних дослідів. Потім відбувалося індуктивне узагальнення накопичених експериментальних фактів, і на цій основі — побудова моделі та (або) прийняття гіпотези. Після пояснення механізму перебігу явища на основі модельного підходу, формувалися положення теорії в адекватній для учнів формі.

Завершувався цикл знову демонстрацією дослідів — експериментальною перевіркою положень нової теорії та її наслідків (верифікація теорії).

Після реформи змісту фізичної освіти 1969 — 1972 р.р. вказана схема утвердилась остаточно і впродовж кількох наступних десятиріч визначала методичні розробки та напрацювання із незначними відхиленнями від наведеної структурно-логічної схеми викладу навчального матеріалу. Домінування цього концепту спричинило те, що найбільша увага в методиці навчання фізики приділялась формуванню фізичних понять у напрямку від чуттєвого сприйняття нових об'єктів до узагальнення на рівні нових наукових понять (А.В. Усова та інші). Численні дослідження з методики навчання фізики, проведені у період 1970 — 1990-х років, підтвердили ефективність індуктивно-емпіричного підходу, особливо в основній школі. Проте, при вивченні квантової оптики, будови атома та атомного ядра з елементами квантової механіки зустрічаються методичні та методологічні проблеми, що практично не мають адекватних розв'язків у межах індуктивно-емпіричного навчання. По-перше, емпіричне та індуктивне навчання уповільнює розвиток фізичного мислення старшокласників у сенсі обмеження теоретичного мислення до рівня емпіричного. По-друге, вказана філософська парадигма як концептуальна основа технології навчання жорстко детермінована емпіричним підходом, а в контексті формування понять — чуттєвим досвідом учнів. Проте, більшість понять квантової фізики складно унаочнити, оскільки з розвитком квантової теорії концепція наочності у фізичній науці була поступово зруйнована під час так званої «кризи наочності» фізичних теорій, що відбулась у ХХ столітті. Звідси випливає третя методологічна проблема, яка виникає внаслідок емпіричного узагальнення — неможливість розкриття причин протікання фізичних явищ, складність унаочнення та демонстрації механізмів їх протікання. Наслідком цього є, зокрема, відома методична проблема, коли більшість понять учні сприймають формально, не розуміючи їх фізичний зміст. Сучасна фізична теорія серед інших характерних особливостей має дві найбільш помітні — ненаочність та відсутність опису протікання фізичних процесів із розкриттям їх механізму. Слід підкреслити, — квантова теорія не позбавлена функції опису, навпаки — її описовий апарат має незрівнянно вищий рівень абстракції та складніші форми математичного та вербального відображення

порівняно з класичними теоріями. Явища, описувані в квантовій механіці, неможливі в макросвіті, оскільки не підпорядковуються законам макросвіту і не можуть ними описуватись. Їх осмислення можливе лише на рівні математичних моделей, які не надають наочності у термінах класичної фізики. Тому опис сучасної теорії на кшталт квантової механіки позбавлений наочності як методологічної категорії, як інструментарію дослідника, а натомість таким інструментом залишився лише математичний апарат. Втрата наочності пов'язана із новою методологією некласичних фізичних теорій. Замість того, щоб висувати гіпотезу на основі індуктивної процедури зі збору емпіричних фактів, створюється теоретична модель, яка базується на положеннях або принципах, що виражаються через математичний апарат (математичні рівняння). Рівняння підбираються дослідником так, щоб отримати нові співвідношення, які відповідають отриманим раніше емпіричним даним. Таким чином, у цій схемі не залишається місця наочним моделям із описом механізму протікання досліджуваного явища, проте залишаються математичні рівняння, які добре узгоджуються із експериментальними даними. Зрештою математичний опис явища витіснив наочну модель, а «механізм протікання явища (процесу)» замінили на «математичний опис явища» без розкриття його глибинних механізмів протікання. Така заміна мала свої згубні наслідки для наочності як дидактичної категорії. Відновити наочність у навчальному процесі неможливо, якщо намагатися суворо дотримуватися логіки методології квантової теорії, настільки це можливо для шкільного курсу фізики. Проте, методологія квантової теорії не є предметом дослідження методики навчання фізики, а тому відновити наочність при вивченні елементів квантової фізики в шкільному курсі неможливо. Проведений нами аналіз літературних джерел, наштовхнув на ідею про те, що розв'язання цієї проблеми слід шукати за межами індуктивно-емпіричної концепції навчального процесу.

Аналіз результатів ЗНО з фізики в період 2010 — 2017 р.р., тестування старшокласників та спостереження за навчальним процесом підтвердили сформульовані вище застереження.

Це зумовило вибір теми дисертаційного дослідження **“Теоретико-методичні основи навчання квантової фізики в старшій школі”**.

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні,

розробці та експериментальній перевірці методичної системи навчання квантової фізики у старшій школі на засадах компетентнісного підходу.

Відповідно до мети дослідження, визначені **завдання дослідження:**

1. Проаналізувати стан дослідження проблеми навчання квантової фізики і будови атома у курсі старшої школи та розглянути історичний аспект вивчення квантової теорії у шкільному курсі фізики.

2. Дослідити психолого-педагогічні та методичні аспекти організації навчальної діяльності учнів в контексті компетентнісного підходу.

3. Розробити концептуальні положення вивчення квантової фізики у курсі старшої школи, що ґрунтуються на компетентнісно орієнтованих технологіях навчання та розробити методичну систему навчання квантової фізики на засадах компетентнісного підходу.

4. Опрацювати та впровадити методичну систему навчання квантової фізики та будови атома в старшій школі з використанням технології розвитку критичного мислення.

5. Експериментально перевірити ефективність пропонованої методичної системи навчання квантової фізики.

Об'єкт дослідження — процес навчання фізики учнів у загальноосвітніх навчальних закладах.

Предмет дослідження — методика навчання квантової фізики і будови атома на засадах компетентнісного підходу з використанням інноваційних технологій навчання.

Відповідно до мети та завдань дослідження, використовувалися наступні **методи дослідження:**

- **теоретичні:** метод порівняльного аналізу, за допомогою якого зіставлялися наявні в історії теоретичні підходи до фізичної освіти в загальноосвітніх навчальних закладах на основі аналізу психолого-педагогічної та науково-методичної літератури, архівних матеріалів, новаторського досвіду та узагальнення власного досвіду роботи; метод системно-структурного аналізу, застосування якого дало можливість побудувати теоретичну модель методичної системи навчання квантової фізики і будови атома у старшій школі та виявити особливості її функціонування у практиці навчання фізики; метод моделювання, на основі якого було обґрунтовано теоретичні засади навчального процесу з

вивчення квантової фізики, фізики атома та елементарних частинок, з'ясовано характерні риси компетентнісно орієнтованої навчальної діяльності старшокласників; метод змістового узагальнення, за допомогою якого було встановлено структуру і зміст пропонованої методичної системи, виявлено структуру предметної компетенції з квантової фізики, будови атома, фізики ядра та елементарних частинок;

- **емпіричні:** анкетування учнів та учителів шкіл, контрольні тести, бесіди, спостереження, вивчення досвіду роботи учителів-методистів, педагогічний експеримент, методи математичної статистики, комп'ютерні технології обробки даних експерименту, які застосовувалися з метою вивчення особливостей навчальної діяльності учнів щодо набуття компетентностей з квантової фізики, виявлення рівня підготовки учнів-випускників шкіл (за результатами ЗНО різних років) щодо володіння ними предметними компетентностями в царині квантової фізики та будови атома, упровадження методичної системи навчання квантової фізики учнів старшої школи та експериментальної перевірки її ефективності.

Наукова новизна отриманих результатів роботи полягає в тому, що:

- вперше теоретично обґрунтовано гіпотетико-дедуктивний підхід з формування понять квантової фізики та фізики елементарних частинок, що ґрунтується на технології розвитку критичного мислення у школярів;
- вперше теоретично обґрунтовано і спроектовано компетентнісно орієнтовану методичну систему навчання квантової фізики на засадах компетентнісного підходу з використанням інноваційних технологій навчання;
- вперше запропонована структура предметної компетентності з квантової фізики, яка враховує особистісну та соціальну значимість компетентності для учнів старшої школи;
- вперше запропоновано нову схему вивчення квантової фізики в старшій школі, що відповідає гіпотетико-дедуктивній концепції пізнання та заснована на критичному раціоналізмі;
- удосконалено критерії сформованості рівня предметної компетентності з квантової фізики з урахуванням розвитку критичного мислення учнів та визначено основні складники технології формування в учнів здатності до критичного мислення;

- вперше запропоновано технологію проектування методичної системи навчання квантової фізики у курсі старшої школи на засадах компетентнісного підходу;
- подальшого розвитку дістали методи інтерактивного навчання, розвитку критичного мислення на уроках фізики;
- доведено причинно-наслідковий зв'язок між ключовою компетентністю «уміння вчитися упродовж життя» із умінням критично мислити.

Теоретичне значення забезпечується теоретико-методологічними засадами вихідних положень; аналізом досвіду впровадження методичної системи навчання квантової фізики на засадах компетентнісного підходу; теоретичним обґрунтуванням та розробкою теоретичних положень вивчення квантової фізики у курсі фізики старшої школи.

Апробація результатів дослідження. Основні положення і результати проведеного дослідження на різних етапах виконання роботи доповідались та обговорювались на міжнародних, всеукраїнських науково-методичних і науково-практичних конференціях, семінарах.

Розділ І. Тенденції розвитку навчання квантової фізики в профільній школі

1.1. Короткий огляд історико-генетичного розвитку квантових уявлень у старшій школі: змістові лінії та основні методичні ідеї

Дослідження історичних аспектів становлення і розвитку методики викладання квантової теорії, будови атома, фізики ядра та відомостей про елементарні частинки можливе у тісному поєднанні з аналізом основних тенденцій та актуальних проблем розвитку методики фізики. Аналіз досліджень О.І.Бугайова [19], М.В.Головка [56], О.В.Сергєєва [246], Н.Л.Сосницької [271], Шута М.І. [324] та інших дослідників дозволив виокремити найвагоміші, з точки зору змісту і методики навчання фізики, періоди становлення і розвитку квантових уявлень у шкільному курсі фізики.

Спочатку розкриємо логіку пропонованої періодизації. Н.Л.Сосницька визначає періодизацію як розподіл процесу розвитку змісту шкільної фізичної освіти на певні проміжки часу, що різняться між собою специфічними особливостями і які встановлені на засадах об'єктивних принципів (критеріїв) [271]. З огляду на це, пропонуємо періодизацію розглядати як різновид класифікації, яка з точки зору формальної логіки полягає у розбитті множини об'єктів на окремі класи за певною ознакою. Ознака для класифікації виступає тією ж “специфічною особливістю”, що й критерії або принципи для періодизації. Тому в основу періодизації вивчення квантової фізики, нами покладено критерії, які відіграють роль ознак, за якими відбувається класифікація (періодизація) навчального процесу з вивчення квантової фізики. Ці критерії, відповідно до мети нашого дослідження, мають наступні спрямування:

1) За розвитком нових наукових понять у фізичній науці.

Квантова теорія зародилась і швидко розвивається як похідна квантової оптики, теорії випромінювання, теорії будови речовини тощо. Тому поява нових понять у змісті шкільного курсу фізики передусім пов'язана з появою відповідних нових наукових понять у змісті фізичної науки, що власне, і визначає той чи інший період вивчення відомостей з квантової фізики у старшій школі. Цей критерій вимагає узгоджувати періодизацію вивчення квантових уявлень із появою останніх у фізичній науці і, водночас,

співвідносити їх із розвитком змісту фізичної освіти в цілому.

2) За розвитком двоступінчатої системи вивчення фізики.

Двоступінчата схема вивчення фізики дозволяє розвивати теоретичний рівень мислення учнів старшої школи за рахунок структурування змісту систематичного курсу навколо фундаментальних фізичних теорій. Тому важливо в історичному аспекті прослідкувати становлення системи двоетапного вивчення фізики. Адже, побудована за логікою змістового узагальнення, друга ступінь систематичного курсу фізики, в нинішніх умовах знімає обмеження щодо засвоєння навчального матеріалу лише на емпіричному рівні.

3) За розвитком основних ідей, принципів та інновацій у методичній науці.

Очевидно, що найбільш помітні методичні та психолого-педагогічні ідеї, які у різні часи набули розвитку в методиці навчання фізики (гуманізація навчального процесу, генералізація навчального матеріалу, принципи політехнічної освіти, ідея профільної та рівневої диференціації, компетентнісний підхід тощо), мали суттєвий вплив не лише на методику викладання окремих питань шкільного курсу, а слугували орієнтирами з відбору навчального матеріалу, методів, технологій навчання і, зрештою, визначали методологію дидактики фізики. Структура і зміст фізичної освіти складаються під впливом соціального замовлення, взаємозв'язку фундаментального і прикладного, структури фізичної науки, методологічних установок [246]. Отже, аналізуючи періоди розвитку методики навчання квантової фізики, неможливо обійти усі значущі досягнення методичної науки.

На підставі проведеного аналізу науково-методичної літератури [7, 97, 127, 181, 182, 228, 234, 267] та досліджень [19, 145, 151, 246, 271], у межах означених трьох критеріїв, нами було здійснено спробу виокремити періоди у розвитку квантових уявлень у старшій школі.

До початку 40-х років у шкільному курсі фізики квантові уявлення практично не розглядалися, а відомості з теорії будови речовини, електронної теорії, теорії випромінювання, радіоактивності тощо викладались спрощено, без залучення квантового апарату. Чому питання квантової фізики не вивчалися в тогочасній масовій школі? Для відповіді на це питання слід поглянути на досягнення фізичної науки першої половини XX століття. Цей період хронологічно співпав із становленням квантової теорії, основні поняття якої лише набували

остаточного наукового змісту і були предметом жвавих дискусій серед видатних вчених-фізиків того часу: А. Ейнштейна, Н. Бора, В. Гейзенберга, Е. Шредінгера та інших. Тобто, поняття квантової фізики (квант, фотон, механізм випромінювання атомів тощо) не вивчались у курсі шкільної фізики, оскільки не були остаточно сформованими у фізичній науці. Процес становлення означених наукових понять відбувався у період 1900 — 1950 р.р. і триває до сьогодні (квантова теорія вважається незавершеною). Підтвердженням цієї тези є історія розвитку найбільш значимого міжнародного форуму фізиків — Сольвеївського конгресу, заснованого за ініціативою бельгійського хіміка-технолога та підприємця Ернеста Сольве (Solvay) (1838 — 1922). У період 1911 — 2017 р.р. в Брюселі відбулося 25 Сольвеївських конгресів, присвячених фундаментальним проблемам фізики. Перший конгрес під назвою “Випромінювання і кванти” відбувся у 1911 році та викликав жваві дискусії серед наукової громадськості. Предметом тогочасної дискусії серед вчених-фізиків було питання: “чи варто для опису дійсності залучати квантовий опис?”. Серед прибічників класичних методів дослідження закономірностей випромінювання, зародились перші сумніви щодо обраних ними підходів до обґрунтування класичної теорії випромінювання. Крім цього, ряд дослідників побачили привабливість квантової теорії у застосуванні її не лише до теорії випромінювання. Проте, навіть незважаючи на очевидну привабливість планківського підходу, більшістю вчених висловлювались сумніви щодо доцільності квантового апарату як адекватного методу опису реальності. Характерно, що конгрес 1911 року був відкритий доповідями Лоренца (“Застосування теореми про рівний розподіл енергії за частотами”) та Джинса (“Кінетична теорія теплоємностей у відповідності з розподілом Максвелла і Больцмана”), у яких вчені висловились на користь класичних методів. Лорд Релей у своєму листі до конгресу підкреслював неможливість застосування законів динаміки до мікрочастинок (молекул і атомів) і велику вірогідність успішності методів “Планківської школи”. Проте вченого непокоїла складність, з якою розв'язувалась задача про випромінювання із застосуванням поняття “квант енергії” і, незважаючи на оптимістичні результати, отримані цим новим методом, він висловлював сумніви щодо доцільності квантового опису наукової картини світу [363].

Для того, щоб скласти загальне уявлення про фундаментальні

проблеми й тенденції розвитку, що панували у період 20 — 50-х років ХХ ст., достатньо проаналізувати тематику окремих виступів вчених-фізиків на Сельвеївських конгресах у період 1911 — 1950 р.р. Красномовною ілюстрацією до проблематики фізичної науки слугують назви конгресів, що також однозначно характеризує коло наукових інтересів більшості видатних вчених-фізиків. Проведений аналіз змісту тематики Сольвеївських конгресів та відповідних виступів учених-фізиків, дає підстави стверджувати, що поняттєва база квантової теорії найбільш активно формувалась у 40 — 60-ті роки ХХ ст.

У післявоєнний період (після 1945 року) почався ґрунтовний перегляд змісту навчання фізики в масовій школі та підняття наукового рівня викладу питань, що вивчалися.

Наступний період пов'язаний із переглядом змісту фізичної освіти. В означений період зміст фізичної освіти змінювався в залежності від рівня розвитку фізики та її технічних застосувань. Проведений нами аналіз свідчить, що саме в цей час були закладені передумови майбутньої реформи кінця 60-х початку 70-х років. Так, у програмах 1947 — 1955 р.р. помітні намагання привести зміст шкільного курсу фізики у відповідність з досягненнями фізичної науки. Принагідно відзначимо проект програми з фізики 1947 р., розроблений в інституті методів навчання Академії педагогічних наук РСФСР, яким передбачалося переходити у вивченні фізики до більш широких узагальнень та приведення змісту фізичної освіти відповідно до вимог науки [151]. Вперше у курсі фізики старшої школи пропонувалося вивчати відомості з квантової теорії. Якщо про кванти світла і згадувалося до цього, то лише в історичному аспекті при розгляді історії розвитку уявлень про природу світла. Відтепер поняття квантової фізики вводять у межах окремої теми “Квантова природа світла” (20 годин). До цієї теми увійшли наступні питання: кванти, поняття про рівні енергії, випромінювання і поглинання енергії атомами, склад і розмір атомного ядра, нейтрони, атомна енергія. Отже, оптика отримала квантове трактування в межах шкільної фізики. Також питання будови атома та атомного ядра викладались на якісно новому рівні. Вказуючи на переваги цього проекту, Л.І. Резніков підкреслював: “Великого узагальнювального значення в практиці викладання надавалося ... вченню про електронну теорію речовини, питанням променистої енергії і квантовим уявленням” [228, с.9].

Таким чином, вивчення відомостей про кванти, зокрема квантові властивості світла, було запропоновано проектом нових програм у кінці 40-х років. Це було викликано, головним чином, необхідністю підвищення наукового рівня змісту шкільного курсу фізики; намагання привести його відповідно до вимог науки набули розвитку і в наступних проектах навчальних програм. Так, починаючи з 1951 р., у старшій школі до вивчення пропонувалися відомості про світловий тиск, квантові флуктуації світла. Вивчення теорії будови речовини підсилювалось перенесенням першого ознайомлення учнів з поняттям електрону до курсу основної школи.

Усі нововведення післявоєнних проектів знайшли своє відображення у програмах 1954 — 1961 р.р. [234, 271].

До початку 60-х років XX століття основні методичні ідеї та засади методики вивчення квантових властивостей світла і будови атома були остаточно сформульовані у численних публікаціях і посібниках [29, 30, 45, 78, 79, 182, 185, 191, 225, 226, 229, 322]. До середини 60-х років методична система вивчення квантової фізики не була остаточно завершена, однак вона набула характерних ознак. Вкажемо на кілька з них.

1. Головною особливістю було те, що програми одинадцятирічної школи відставали за змістовим наповненням від методичних розробок. Наприклад, вище вже згадувалося, що у програмах 1959 і 1960 років відсутні наступні питання: відомості про фотони та їх властивості, лічильники елементарних частинок, природну і штучну радіоактивності, ізотопи, прискорювачі елементарних частинок та ін. Водночас у методичній літературі [6, 74, 216, 217 та інші] пропонувалася методика вивчення цих та інших питань, що не входили до навчальних програм, що значною мірою підвищувало науковий рівень викладу цих відомостей у курсі фізики старшої школи (10 клас).

2. З іншого боку, вивчення квантових властивостей світла та будови атома, з точки зору методики їх вивчення, було підпорядковано, головним чином, формуванню знань бази і з'ясуванню можливих застосувань у тогочасній техніці явищ, що вивчались. Наприклад, у темі “Дії світла” в 10 класі передбачалося вивчати явища фотоелектричного ефекту, люмінесценції та фотохімічної дії світла, основні закономірності, що характеризують ці явища, і “... цим самим обґрунтувати квантову природу світла і, зрештою, роз'яснити різноманітні застосування цих явищ у сучасній

техніці” [225, с.47].

3. Проведений аналіз показав, що у методичній літературі [225, 229 та ін.] окремі відомості про квантові властивості світла та будову атома були викладені на науковому рівні, що практично відповідав вимогам майбутньої реформи змісту фізичної освіти (1967 — 72 р.р.). Інакше кажучи, методика вивчення елементів квантової фізики та будови атома дещо випереджала час у контексті змісту окремих питань, що вивчалися.

4. Водночас, на тлі провалу соціально-економічних реформ [279], реформа освіти 1958 року стала кроком назад щодо посилення ролі теорій у навчанні та підвищенні наукового рівня викладання сучасної фізики (квантової оптики, будови атома, ядерної фізики, фізики елементарних частинок). Якщо у післявоєнний період (з 1947 р.) розвиток методичної думки був спрямований на приведення стану викладання фізики відповідно до вимог сучасної науки, то внаслідок реформування 1958 року, ця проблема так і залишилась актуальною до середини 60-х років, у тому розумінні, що відрив між досягненнями фізичної науки і станом її викладання у масовій школі лише зріс.

5. Проведений аналіз програм, відповідних підручників, методичної літератури показав, що навчальний матеріал із квантової фізики, фізики атома і будови ядра увесь час оновлювався і поповнювався новими фактами, а тому зростав в об'ємі. Внаслідок збільшення об'єму навчального матеріалу втрачалась його логічна цілісність. Наприклад, вивчення відомостей про кванти так і залишилось у розділі “Дії світла”, хоча за змістом відповідало квантовій оптиці [225].

Протягом 1960 — 1963 р.р. лабораторією фізики Інституту змісту і методів навчання Академії педагогічних наук СРСР було проведено педагогічний експеримент [233]. Мета експерименту — вивчення масового досвіду викладання фізики за програмою 1960 року. В результаті цього дослідження було з'ясовано ряд суттєвих недоліків у знаннях учнів. Якщо узагальнити усі отримані результати, то вказані недоліки можна звести до двох груп: невміння переносити знання, що отримані під час вивчення одного факту на пояснення іншого факту; нездатність учнів обґрунтовувати та аргументувати власну відповідь.

У 1967 році Комісією при Президії Академії наук СРСР та АПН СРСР під керівництвом академіка І.К. Кікоїна був розроблений проект

нових навчальних програм з фізики і астрономії [214]. Перехід загальноосвітньої школи на роботу за цією програмою розпочався у 1968 – 1969 н.р. Аналіз цих нововведень показав наступне.

Новий курс фізики був покликаний виконувати основне завдання – формування в учнів системи фізичних понять на рівні, що відповідав би сучасному стану розвитку науки. Передбачалося здійснювати це двома шляхами. По-перше, через нове, більш глибоке трактування традиційних понять — маси, сили, температури та ін. Необхідно було, щоб формування цих понять здійснювалося з урахуванням тогочасних наукових досліджень [66]. По-друге, шляхом уведення в курс фізики нових понять спеціальної теорії відносності, квантової теорії (корпускулярно-хвильовий дуалізм властивостей світла) та будови речовини.

Зупинимося детальніше на нововведеннях, що стосувалися перебудови курсу фізики та уведення квантової фізики і будови атомного ядра.

У новому курсі фізики пропонувалося вивчення відомостей про будову матерії (речовини і поля) здійснювати на якісно новому рівні. На думку Л.І. Рєзнікова, в новій програмі [214] «...закладені можливості для посилення ролі атомно-молекулярного вчення, яке пронизує увесь курс, електронної теорії при вивченні фізичних основ електронної провідності та магнетизму, квантових уявлень при вивченні фізичної оптики та фізики атомного ядра» [228, с.12]. Слід підкреслити, що вказана ідея — формування понять теорії структурної організації матерії протягом усього курсу фізики старшої школи, — виявилась вдалою і була сповна реалізована у підручниках [32, 162].

Відповідно до нової програми [214], вивчення квантової фізики і будови атома ґрунтувалося на викладені фактів за логікою, що історично склалась під час створення квантової теорії [52, 224, 263, 284 та інші]. В основу цього підходу покладені емпіричні факти, які після узагальнення входили до підвалин нової теорії. Історичний шлях формування поняття неможливо відтворити в умовах навчального процесу [140]. Проте, цей шлях повинен добре відбиватись у логіці викладу, тобто йому повинна відповідати методика вивчення відповідних відомостей. Проведений нами раніше аналіз показав, що розвиток фізичної теорії зазвичай розпочинається зі створення абстрактної моделі, яка народжується на основі експериментальних фактів і яка, зрештою, приводить до протиріч.

Теорія справедлива доти, поки експериментально підтверджуються усі висновки, що випливають із традиційної моделі. Якщо нова модель здатна пояснити нові факти, що протирічать усталеній теорії, значить вона теж входить у протиріччя із останньою, а тому виникає потреба у розробці нової теорії або внесенні кардинальних змін до існуючої. Досить виразно у цьому контексті висловився М. Планк, який відзначав: «... для справжнього теоретика нічого не може бути цікавішого, ніж такий факт, який знаходиться у прямому протиріччі із загальновизнаною теорією: адже тут, власне, і розпочинається його робота. Як слід вчинити у такому випадку? Поза сумнівом одне: до існуючої теорії слід внести такі зміни, щоби вони відповідали встановленому факту» [188, с.73]. Отже, за задумом авторів нових програм, у курс фізики слід було внести зміни відповідно до логіки розвитку фізичних понять. Провідна роль у такому разі належить саме виявленню емпіричних фактів, які стали наріжним каменем утворення квантової теорії. Досить яскравим прикладом може слугувати історія виникнення корпускулярно-хвильового дуалізму світла і речовини. Аналіз показав, що у підручнику [162] виклад навчального матеріалу було здійснено відповідно до історії формування поняття “корпускулярно-хвильовий дуалізм”.

Гюйгенс вважав, що світло — хвильовий процес в ефірі (ефір розглядався як гіпотетичне середовище, в якому відбуваються хвильові процеси). Кожна точка хвильового фронту сама відіграє роль джерела коливань. Ця блискуча ідея дозволила Гюйгенсу пояснити практично усі оптичні явища. Проте, існували експериментальні факти, що входили у протиріччя із моделлю Гюйгенса. Це дозволило Ньютону розвинути корпускулярну теорію світла, яка була визнана справедливою. Відкриття інтерференції і дифракції світла на початку XIX ст. змусило вчених повернутися до хвильової теорії Гюйгенса. Френель, здавалося, остаточно зруйнував корпускулярні уявлення про світло, довівши, що на основі хвильової теорії (принципу Гюйгенса-Френеля) можна пояснити не лише хвильові явища, а й ті, що пояснювалися виключно законами геометричної оптики, зокрема прямолінійне поширення світла. Нарешті, праці Фарадея, Максвелла і Герца дозволили встановити електромагнітну природу світла. Світлові хвилі тепер уявляли як електромагнітні хвилі певного діапазону. На межі XIX і XX століть настала черга прихильників хвильової теорії зустріти експериментальні факти, які не можна було

пояснити, застосувавши абстрактні моделі, що були адекватними в її межах. Труднощі виникли тоді, коли спробували пояснити закономірності випромінювання абсолютно чорного тіла в рамках хвильової теорії світла (електромагнітної теорії Максвелла). Неможливо було пояснити розподіл енергії за частотами у спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла з позицій класичної теорії випромінювання. Згідно з цією теорією атом представляли як осцилятор, що випромінює внаслідок руху електрона навколо ядра. Цей рух електрона можна розкласти на два взаємно перпендикулярних гармонічних коливання. Отже, відповідно до класичних уявлень, випромінювання атома – це випромінювання мікровібратора. Така модель була сповна наочною і водночас дозволяла отримати ряд важливих висновків, що підтверджувалися експериментально [309]. Проте, вона мала суттєвий (концептуальний) недолік — не пояснювала, чому не випромінює незбуджений атом. У 1900 р. М. Планк припустив, що випромінювання відбувається квантами (порціями) енергії, що дозволило згодом пояснити закономірності випромінювання абсолютно чорного тіла, випромінювання атома, особливості протікання фотоефекту тощо. Наступний важливий етап — перехід від поняття кванту енергії до кванту як особливої частинки з енергією, що відповідає цьому кванту. Відтепер світло можна було представити як потік фотонів. У зв'язку з цим, у науковий обіг вводиться поняття “корпускулярно-хвильовий дуалізм світла”. У 1924 році де Бройль висунув гіпотезу про те, що корпускулярно-хвильовий дуалізм притаманний не лише частинкам світла (фотонам), а й частинкам речовини, наприклад, електронам. Останнє припущення набуло експериментального підтвердження: Девісон і Джермер виявили дифракційну картину при відбиванні електронів від поверхні монокристалу.

Така, в загальних рисах, історія розвитку понять квантової оптики, покладена в основу навчального матеріалу підручника [162]. Саме цим визначалося *циклічне спрямування викладу навчального матеріалу*: від експериментальних фактів до побудови абстрактної фізичної моделі, потім — до отримання теоретичних наслідків і, нарешті, знову до експериментальних фактів, що підтверджують справедливість цих наслідків [220]. Таким чином, приходили до висновку про придатність теоретичної моделі для пояснення явищ, що вивчаються. Як засвідчив проведений нами аналіз навчальних програм [214] і відповідного підручника [162], саме така

послідовність викладу навчального матеріалу мала місце для квантової оптики і будови атома.

Стосовно структури нового курсу фізики і вивчення квантових уявлень зокрема, можемо зробити попередні висновки. Шкільний курс фізики в результаті реформи, проведеної протягом 1967 — 1972 р.р., мав ряд особливостей, які дозволяють говорити про його якісно новий науково-методичний рівень вивчення квантової оптики та будови атома. Серед таких особливостей курсу, вкажемо наступні.

По-перше, враховувалась логіка історичного розвитку понять атомно-молекулярного вчення, електронної теорії, теорії коливань, квантової теорії і теорії поля. Відповідно до цього структура навчального матеріалу програм і нових підручників вибудовувалась за циклічною формально-логічною схемою: *вихідні експериментальні факти — теоретична модель — наслідки — експериментальна перевірка наслідків*. Підкреслимо, що вивчення відповідних відомостей розпочиналося з експериментальних даних і завершувалося знову експериментом — цикл замикався.

По-друге, відбір змісту фізичної освіти підкорявся концепції генералізації навчального матеріалу навколо фундаментальних ідей, моделей і теорій. Це дозволяло відкинути другорядний і несуттєвий матеріал, який втратив наукову цінність та переобтяжував курс фізики післявоєнних років (1947 — 1960).

По-третє, виклад навчального матеріалу ґрунтувався на двох логічних структурах: 1) на енергетичній основі; 2) на підставі ідей теорії будови речовини: виклад навчального матеріалу у напрямку від відомостей про структурні частинки матерії до розгляду властивостей речовини та їх пояснення на основі атомно-молекулярного вчення.

По-четверте, вивчення традиційних понять пропонувалося здійснювати у новому трактуванні, з урахуванням сучасних наукових уявлень та їх застосувань у техніці.

По-п'яте, осучаснення курсу передбачалося здійснювати кількома шляхами, серед яких — введення нових понять квантової оптики, елементів квантової механіки і сучасних досягнень фізики високих енергій. Зрештою, вивченню елементів теорії будови речовини був присвячений увесь курс фізики як основної, так і старшої школи, про що зазначалось вище. Викладені нововведення були сповна реалізовані у курсі фізики 10 класу.

Із переходом на новий зміст фізичної освіти виникла потреба методичної підтримки і розробки шляхів реалізації усіх науково-

методичних ідей, закладених у навчальних планах, програмах і підручниках. У цей період кандидатські дисертації присвячені переважно таким питанням: психологічним основам навчання фізики, розвитку мислення, формуванню наукового світогляду, посиленню зв'язку курсу фізики з життям, політехнічному і трудовому навчанню під час викладання фізики, підвищенню наукового рівня шкільного курсу відповідно до тогочасних досягнень фізичної науки, розвитку пізнавальної активності школярів, розробці і вдосконаленню змісту та методики вивчення окремих розділів шкільного курсу фізики, методиці і техніці шкільного фізичного експерименту та інші [228].

Більшість дисертаційних досліджень, що присвячені методичним проблемам, зводились до формування системи фізичних знань у школярів. Розглядалися переважно два аспекти: розвиток фізичних понять протягом усього курсу або більшої його частини та формування системи фізичних понять, що стосуються певної системи явищ або основ теорії. Дослідження, які можна віднести до методики формування понять квантової фізики, відповідали обом напрямкам, наприклад [107, 131].

Проведений аналіз змісту і структури навчального матеріалу з фізичної оптики, атомної фізики та фізики атомного ядра показав, що нові програми і підручники, розроблені авторським колективом зі змісту навчання, дозволили підняти формування основних понять квантової фізики на якісно новий рівень, порівняно з навчальними програмами попередніх років. Як було показано вище, у програмах 1947 — 1950 років вивчення цих відомостей носило фрагментарний характер; навчальними програмами 1960-х років вивчення квантових властивостей світла розглядалося лише як частковий випадок дії світла. Ця тенденція хоч і формально, але збереглась не лише у методичній літературі тих років, але й у перших редакціях нових підручників [162, 164] — розділ, присвячений світловим квантам, мав назву “Дія світла. Світлові кванти”. Проте, за змістом суттєво вирізнявся новим, сучасним тлумаченням ідей квантової теорії. Згодом, у доопрацьованих редакціях підручників, у яких було враховано методичні рекомендації вчених-методистів, розділ отримав назву “Світлові кванти” і перемістився з частини “Оптика” до частини “Квантова фізика” [163].

Згадані методичні рекомендації стосувалися не лише змісту нових підручників, а й навчальних посібників та методичної літератури і були вироблені на підставі досліджень АПН СРСР.

З 1971 — 1972 н. р. лабораторією навчання фізики НДІ змісту і методів навчання АПН СРСР були започатковані систематичні дослідження навчального процесу у зв'язку з переходом на новий зміст навчання. Предмет дослідження — знання учнів із курсу фізики основної і старшої школи, рівень сформованості відповідних понять, умінь і навичок. Проведений науковцями [221, 222, 223, 265] аналіз результатів цих досліджень показав, що педагогічний ефект від упровадження у шкільну практику нового змісту освіти був досягнутий неповністю.

Незважаючи на усі труднощі, в результаті впровадження у практику масової школи науково-методичних ідей, започаткованих програмою 1967 року, в цілому був отриманий очікуваний педагогічний ефект — від 60 до 90% учнів отримали міцні знання про фотоефект, фотони і атомну фізику на рівні відтворення (знання основних фактів і формул) [265, с.142].

З кінця 70-х до першої половини 80-х років зміст фізичної освіти помітно не змінювався. З середини 80-х до початку 90-х років почали домінувати нові тенденції у цілях та змісті фізичної освіти, які помітно вплинули на методичні особливості викладання квантової фізики. Для їх розкриття слід проаналізувати навчальні програми вказаного періоду [209, 211].

У програмі з фізики 1985 року [211] увесь науково-методичний доробок, напрацьований протягом реформи 1967 — 1972 р.р., набув подальшого вдосконалення і ґрунтовного доопрацювання. У передмові підкреслювалося: «У нових програмах збережено все те цінне у змісті, що апробовано радянською школою і забезпечує високий рівень освіти молоді. У програмах знайшли відбиття основні напрями розвитку науково-технічного прогресу, сучасні досягнення науки, техніки, культури; посилена практична спрямованість. Відповідно до змісту уточнено вимоги до знань, умінь і навичок учнів, нормативи їх оцінювання, надано рекомендації з методики викладання предмету» [там само с. 21].

Вкажемо на головні методичні ідеї та змістові лінії, що були закладені у цій програмі з огляду на зміст квантової фізики.

1. Проголошена ідея генералізації навчального матеріалу навколо фундаментальних теорій та ідей. Реалізація принципу генералізації навчального матеріалу вимагала такий його відбір та методику викладання, за яких головна увага приділятиметься вивченню основних фактів, фізичних понять, методів фізичної науки,

узагальненню широкого кола явищ на основі теорії [211]. У зв'язку з цим розробниками проведена систематизація і укрупнення тем, виокремлений “основний” матеріал, засвоєння якого повинно дозволити не загромаджувати пам'ять учнів надлишковими і частковими фактами. До такого матеріалу з квантової фізики належали наступні відомості: квантові властивості світла, постулати Бора, закон взаємозв'язку маси і енергії, а до основного — «важливі наслідки із законів і теорій та питання їх практичного застосування» [там само, с.22]. Завдяки генералізації практично усунено дублювання однакових питань будови речовини в основній і старшій школах.

2. Сучасний науковий рівень програми забезпечувався відбиттям у курсі фізики старшої школи теоретико-пізнавальних аспектів навчального матеріалу — межі застосування фізичних теорій та співвідношення між законами теорій, що мали різний ступінь узагальнення, експериментальної бази фізики як джерела знань і водночас критерію справедливості теорій, відомостей з історії розвитку науки, зокрема становлення ідей квантової теорії.

3. Мали місце зміни та структурні нововведення програми стосовно вивчення відомостей із квантової фізики. Відтепер відомості про світлові кванти, фотоефект, тиск світла, ефект Комптона, фізику атома і атомне ядро, елементарні частинки виокремлено в окрему частину “Квантова фізика”, що підкреслювало важливість і необхідність вивчення питань квантового підходу у шкільному курсі фізики. Власне квантова фізика складалась із двох розділів: “Світлові кванти. Дії світла” та “Атом і атомне ядро”. Загальна кількість годин, що відводилась на квантову фізику, була збільшена у порівнянні з попередньою програмою 1967 року [214]. Програмою [211] на перший розділ (“Світлові кванти. Дії світла”) відводилось 12 годин, на другий (“Атом і атомне ядро”) — 25 годин, в той час як попередньою програмою [214] всього передбачалося 34 години на викладання цих відомостей. Водночас деякі питання були вилучені, наприклад, відомості про люмінесценцію. Також програмою [211] не передбачалося широке висвітлення питань екологічної безпеки у контексті розвитку ядерної енергетики.

Основні поняття, які мали б засвоїти старшокласники після вивчення навчального матеріалу з квантової фізики: фотон, фотоефект, корпускулярно-хвильовий дуалізм, атомне ядро, ядерна модель атома, ядерні сили, ядерні реакції, енергія зв'язку ядра атома, радіоактивний розпад, ланцюгові реакції поділу, термоядерна реакція,

елементарна частинка; закони: фотоефекту, радіоактивного розпаду. Постулати Бора [211, с.33 — 34]. Отже, ряд важливих питань не вивчалоя: ефект Комптона, люмінесценція, дослід Боте.

Вивчення фізики у курсі 11 класу за програмою [там само] і відповідним підручником [163] здійснювалося за чотирма частинами: “Електродинаміка (продовження)”, “Коливання і хвилі”, “Оптика” і “Квантова фізика”. Квантова фізика представлена у чотирьох розділах: “Світлові кванти”, “Атомна фізика”, “Фізика атомного ядра” та “Елементарні частинки”. Логіко-структурна побудова курсу була сповна завершеною. Спочатку учнів ознайомлювали з відомостями про коливні та хвильові процеси (частина “Коливання і хвилі”), потім сформовані поняття поглиблювались і розширювались під час вивчення оптики (світлові хвилі, елементи теорії відносності, випромінювання і спектри). Як вже відзначалося, вивчення хвильових явищ дозволяло підвищити науковий рівень викладу питань квантової оптики. Завершувалося вивчення оптики розділом “Випромінювання і спектри”, що дозволяло актуалізувати і переконливо обґрунтувати зародження ідей квантової теорії.

У період відновлення і розбудови української державності (1990 — 2001 р.р.) було проголошено про орієнтацію національної школи на світовий досвід. На кінець 80-х — початок 90-х років ХХ століття у більшості високорозвинених демократичних країнах світу переважали тенденції зі зміщення акцентів у цілях навчання з формування предметних знань на розвиток мислення, формування “природничо-наукової грамотності”, вироблення вмінь орієнтуватися у природничо-науковій інформації [140, 145, 271 та інші]. У вітчизняних дослідженнях з методики поступово набував сили принцип варіативності змісту, структур і розроблюваних методичних систем навчання фізики в основній і старшій школах.

У 1992 році вперше з часу проголошення незалежності України була прийнята програма шкільного курсу фізики [208]. За змістом і структурою вона не відрізнялась від програм радянської школи 1985 року, оскільки спиралась «... в основному на традиційний зміст і традиційну структуру шкільного курсу фізики, на нині діючі підручники» [там само, с.8]. Водночас у системі фізичної освіти національної школи намітились ґрунтовні зрушення, пов'язані, перш за все, з переорієнтацією на світовий досвід. У зв'язку з цим слід відзначити, що найбільш вагомі інновації програми стосувалися реалізації нових для вітчизняної школи ідей гуманізації та

демократизації навчання. У ній знайшли також відбиття усі тогочасні тенденції реформування системи національної освіти, які були, у свою чергу, віддзеркаленням світових трансформацій в освітньому середовищі — диференціації навчального процесу, переходу від знаннєвої парадигми до діяльнісної, що передбачала розвиток людини як особистості, її творчих здібностей. У пояснювальній записці до програми наголошувалося, що навчальний процес з фізики відтепер мав базуватися на основі «...кардинального переходу від інформаційно-пояснювального, орієнтованого на передачу готових знань, — до діяльнісного, спрямованого не тільки на засвоєння знань, а й на варіанти його, на зразки та способи мислення й діяльності, на розвиток пізнавальних сил і творчих здібностей учнів» [208, с.4 — 5].

Отже, можна стверджувати, що у програмі [там само] здійснено спробу реалізувати положення нової (для того часу) концепції загальноосвітньої школи [114], яка увібрала в себе усі новітні тенденції розвитку системи національної освіти, зазначені у законі “Про освіту” [94] і державній програмі “Освіта ХХІ століття” [75]. Причому практична реалізація цих ідей здійснювалась з опорою на традиційний зміст і структуру навчального матеріалу та наявне методичне забезпечення [65, 182, 284, 309 та ін.] і підручник [163]. Тому у шкільній практиці методика формування понять квантової фізики на початку 90-х років відповідала науково-методичним здобуткам середини 80-х років, які практично зупинились на рівні реформи 1967 — 1972 років, а усі зміни полягали у “подальшому покращенні” отриманих результатів з формування понять, незважаючи на поступ інновацій в освіті. Такий тогочасний стан слід визнати цілком закономірним, оскільки країна тільки-но відновила державну самостійність і з об'єктивних причин не було можливості фінансово забезпечити видання навчальних матеріалів, які б відповідали новим цілям навчання.

У програмі 1992 року успішно реалізовано два види диференціації: рівневу і профільну.

Як вже відзначалося вище, стандартом шкільної фізичної освіти [59] було окреслено змістові лінії шкільного курсу фізики — рух і взаємодії, речовина, поле, енергія, космологія і методи природничо-наукового пізнання, які сповна реалізовані через зміст програм [207].

Аналіз змісту навчальних програм [207] щодо вивчення квантових понять, доцільно, на наш погляд, провести у порівнянні з програмами 1985 року [211]. Порівняльний аналіз цих програм

показав, що зміст квантової фізики (частина “Квантова фізика” [207, с.87 — 88] і [211, с.32] практично не змінився.

Програми 2001 року [204] були створені тим же творчим колективом (керівник О.І.Бугайов) і практично повторювали за змістом програми 1996 року, враховуючи особливості викладу навчального матеріалу, пов'язані з виходом нових підручників для основної і старшої шкіл різних авторських колективів (очолюваних О.І. Бугайовим і Є.В. Коршаком). У пояснювальній записці до програм вказувалося на вихідні положення і принципи, які мали визначальний вплив на формування структури і змісту та вибір методів навчання. До таких положень належали питання диференціації та гуманітаризації навчання [204], що власне було продовженням науково-методичних ідей, викладених у програмах 1996 року [207].

Дисертаційні дослідження кінця 90-х років ХХ століття та початку ХХІ століття визначали теоретико-методичні концепції того часу — розвиток особистості учня на уроках фізики, диференціація та індивідуалізація навчального процесу, гуманізація та гуманітаризація навчання фізики, розвиток логічного мислення учнів, реалізація неперервності фізичної освіти, питання інтеграції фізичних знань із предметами природничо-наукового циклу, особистісно орієнтоване навчання фізики в середній школі.

Дисертаційне дослідження О.І. Ляшенка присвячене логіко-гносеологічним, психолого-педагогічним та методичним основам формування фізичних знань в учнів середньої школи. В роботі О.І. Ляшенка розкрито закономірності пізнавального процесу у фізичній науці та вивченні фізики в школі, розроблена методична модель навчального пізнання яка побудована на концепції особистісно орієнтованого змісту фізичної освіти [140]. Визначено концептуальні засади навчання фізики в середній школі: методологічна переорієнтація освітніх систем із інформативних аспектів вивчення фізики на розвиток особистості учня; гуманізація фізичної освіти шляхом розкриття гуманітарного потенціалу наукового знання з фізики, її спрямування на гуманістичні ідеали формування особистості людини, спроможної до гармонії з природою, навколишнім світом і самим собою; реалізація наскрізності (неперервності) фізичної освіти, враховуючи пізнавальні можливості та інтереси дитини на різних вікових етапах її розвитку; особистісне спрямування змісту фізичної освіти з урахуванням

здібностей і нахилів учнів; «технологічність» навчання фізики в середній школі, яка забезпечує активність і особистий темп повного засвоєння учнем шкільного курсу фізики [там смо].

У дисертації Б.Є. Будного розглянуто та ґрунтовно досліджено закономірності формування науково-теоретичного мислення учнів на основі системи фундаментальних фізичних понять [24, 26]. З'ясовано зміст і особливості формування фундаментальних фізичних понять на прикладі вивчення сучасних фізичних теорій: КЕД, КАД, КХД, квантова механіка, СТВ. Методичну проблему формування фундаментальних фізичних понять Б.Є. Будний пропонує вирішувати шляхом історичної реконструкції становлення сучасних фізичних теорій. Для цього слід здійснювати пошук основи для структурування навчального матеріалу в рамках окремих розділів і тем (та змісту шкільного курсу фізики загалом), а також «основи для вироблення раціональної методики навчання — необхідної з позиції фізики як науки і фізики як навчальної дисципліни» [25, с. 113]. У дослідженні показано, що основа сучасних фізичних понять сягає фундаментальних закономірностей явищ природи, а це, на думку дослідника, визначає можливість використання їх як універсального засобу пізнання [24].

У дисертації С.П. Величка досліджено перспективні напрямки вдосконалення фізичної освіти через розвиток системи навчального експерименту з фізики у середній школі. В цій роботі на основі психолого-педагогічного аналізу навчально-виховного процесу в середній школі з урахуванням діяльнісного підходу та суб'єкт-суб'єктної основи його організації, розглянуто перспективні напрямки вдосконалення системи шкільного фізичного експерименту. Шкільний фізичний експеримент досліджено як педагогічну систему, що дозволило С.П. Величку узагальнити тенденції розвитку системи ШФЕ, виявити основні напрямки удосконалення навчального експерименту й обладнання з фізики та розробити пропозиції щодо запровадження у навчальному процесі оригінальних комплектів обладнання з фізики. На підставі проведеного дослідження сформульовано наступні концептуальні основи розвитку системи ШФЕ в середній школі: переорієнтація методики і техніки навчального фізичного експерименту від пояснювально-ілюстративного аспекту у навчанні фізики на онтогенетичний розвиток особистості учня; забезпечення шкільної фізичної освіти системою ШФЕ, яка відповідає рівневі досягнень фізичної галузі

науки; створення неперервної системи ШФЕ для забезпечення різних етапів формування фізичних знань у сучасній середній школі; особистісне спрямування системи ШФЕ на основі індивідуальних особливостей, здібностей і нахилів учнів; посилення ролі самостійної пошуково-пізнавальної діяльності учнів у системі ШФЕ; «технологічність» системи ШФЕ, яка забезпечує оптимальний темп виконання навчального експерименту [38].

Дисертація М.Т. Мартинюка присвячена теоретичним основам змісту і структури інтегрованого курсу «Фізика. Астрономія» (7 — 9 класи), як навчального предмету, та методичним засадам його вивчення в основній школі [145]. У дослідженні обґрунтовано функції пропонованого навчального курсу, його програми, змісту та структури адекватних їм пробних підручників та запропоновано методичну систему навчання основам фізичних і астрономічних знань. Зміст освіти в цій роботі представлений як чотирьохкомпонентна структура: предметні знання; узагальнені способи діяльності; досвід емоційно-вольового ставлення до результатів і процесу діяльності у відповідній предметній галузі знань, досвід творчої діяльності.

Питанням теорії та методики управління пізнавальною діяльністю старшокласників у навчанні фізики присвячене дисертаційне дослідження П.С. Атаманчука [1]. На підставі проведеного дослідження ним створені концепція «Управління пізнавальною діяльністю учнів у навчанні фізики» та дидактична модель цілеспрямованого управління формуванням фізичного знання на рівнях змістовно-діяльнісних та діяльнісно-особистісних якостей шляхом об'єднання логіко-раціонального та емоційно-ціннісного початків пізнавальної діяльності школярів.

Дисертаційне дослідження М.І. Садового [238] стосується проблем змісту, структури, взаємозв'язку класичного і квантового, теоретичного і емпіричного узагальнення у фізиці з позиції методології науки. На підставі проведеного дослідження обґрунтовано теоретичні і методичні основи формування співвідношення класичного та квантового через систему «наскрізних» понять. Наскрізні поняття — це система понять, яка «...сприяє вивченню перервного та неперервного, дуалізму і єдності, симетрії і доповнюваності, відносності та невизначеності при засвоєнні фізичних явищ, понять, процесів на всіх етапах навчання фізики в загальноосвітній школі» [там само, с. 10]. М.І. Садовим запропоновано концепцію гуманітарної фізичної освіти 12-річної

загальноосвітньої школи. Цією концепцією передбачалося реалізувати формування на уроках фізики класичного і квантового та забезпечити специфіку прояву дидактичних принципів наступності, систематичності, науковості, історизму, неперервності та гуманітарного навчання при вивченні відповідних фізичних теорій.

Нижче детальніше розглянемо дисертації [26, 239], що відповідають предмету нашого дослідження — вивчення квантової фізики в старшій школі.

Дисертаційне дослідження [26] присвячене проблемі формування в учнів системи фундаментальних фізичних понять. Б.Є. Будним показана доцільність підпорядкування змісту фізичних знань «сучасному способу науково-теоретичного мислення». З цією метою ним запропоновані нові підходи до узагальнення і систематизації знань, а також введені додаткові (такі, що не передбачені навчальною програмою) поняття спеціальної теорії відносності та квантової фізики.

Автор відзначає низький рівень засвоєння учнями понять, які передбачені навчальною програмою: «відносність», «близькодія», «суперпозиція», «корпускулярно-хвильовий дуалізм», «стаціонарний стан», «фотон». Учні нездатні застосовувати означені поняття для пояснення певних фізичних явищ [26, с. 9]. Вдосконалення систематичного курсу фізики дослідник вбачає у використанні ідей методології сучасної фізики. З цією метою пропонується введення низки фундаментальних понять — «симетрія», «невизначеність», «кварки» та інші. Для реалізації поставленої мети, в рамках дисертаційного дослідження, була розроблена методична система формування науково-теоретичного способу мислення учнів на основі вказаних вище фундаментальних понять, які відіграють роль «синтезуючих узагальнень» курсу фізики і водночас вибудовують логіку розгортання навчального матеріалу в шкільному курсі фізики. Власне формування науково-теоретичного мислення учнів досягалося через врахування закономірностей становлення і специфіки функціонування фундаментальних фізичних понять в науці, через відтворення в навчальному процесі предметно-матеріальних умов їх походження. На думку вченого, зміщення акцентів на формування фундаментальних понять, дозволить, по-перше, визначити дидактичні основи вдосконалення природничо-наукової освіти; по-друге, отримати практичні результати щодо оптимізації змісту навчальних предметів та вдосконалення організації змісту навчального процесу.

Пропонувалася наступна класифікація усіх фізичних понять шкільного курсу фізики: 1) «поняття-елементи», які не потребують дефініції; 2) поняття, які можна відразу означити, спираючись на досвід учнів та поняття першого типу; 3) «поняття-комплекси» — це поняття, формування яких базується на «поняттях-елементах»; 4) фундаментальні поняття — це такі поняття, що «... виступають системними об'єктами і структурно є своєрідними конструктами, що не тільки несуть інформацію про навколишній світ, але і забезпечують розуміння цієї інформації, вказують шлях руху до істини» [Там само, с. 373]. Ознакою класифікації тут слугує наступність у формування понять, інакше кажучи, поняття розбиваються на класи залежно від того, на які інші поняття слід опиратися при формуванні нових. Такий підхід не є новим, ще Піаже відзначав, що формування нового поняття буде успішним, якщо буде відбуватися з опорою на раніше засвоєні учнем поняття.

Спираючись на вказану класифікацію, Б. Є. Будний пропонує встановити інваріантні зв'язки в змісті навчального матеріалу розділів оптики, будови атома і атомного ядра, елементарних частинок і на цій основі розробити єдиний підхід до вивчення різних видів взаємодій. Процесуально однаковість вивчення означає: а) однаковий спосіб дослідження структури мікрооб'єктів; б) однаковий механізм передачі взаємодій; в) однаковий інструментарій дослідження явищ різної природи. Під інструментарієм розуміється система фундаментальних понять [26, с. 379]. Тут незрозуміло у чому саме полягає однаковість фундаментальних понять, адже структурно і за змістом вони досить багатогранні та складні.

Хоч пропонований підхід досить привабливий з точки зору методології фізики, проте має суттєві методичні недоліки. Вкажемо на системні недоліки пропонованого підходу. Умовно їх можна розділити на дві групи. Перша група методичних проблем, пов'язаних із пропонованим підходом щодо удосконалення шкільного курсу фізики через залучення фундаментальних понять, полягає в тому, що вивчення нових понять не спиратиметься на поняття, які учням відомі. Наприклад, для того аби пояснити обмінний механізм електромагнітної взаємодії, необхідно оперувати поняттям «безмасовий фотон», що викликає в учнів когнітивні труднощі, пов'язані з тим, що фотон, власне, безмасовий. У підручниках з фізики [62 — 64, 117, 163] зазвичай пояснюється, що фотон має імпульс, масу, а відтак потік фотонів чинить тиск світла. Для того,

щоб пояснити протиріччя, учням необхідно повідомити про закон неадитивності маси для фотонів, що виходить за межі навчальної програми. Для пояснення інших обмінних процесів (слабкої та сильної взаємодій), також з'являється система нових для учнів понять — «глюони», «калібрувальні бозони», «лептони», «кварки», «аромат» і «кольори» фундаментальних частинок тощо.

Використання фундаментальних понять і пов'язаних із ними взаємодій обов'язково спричинить вивчення чотирьох фундаментальних взаємодій — гравітаційної, електромагнітної, сильної і слабкої. Принагідно відзначимо, що якщо перші три взаємодії вивчаються у шкільному курсі фізики, то слабка взаємодія навчальною програмою не передбачена. Основна ідея, яку пропонує Б.Є. Будний для вивчення фундаментальних взаємодій — «однаковість» у вивченні структури мікрооб'єктів, механізмів передачі фундаментальних взаємодій та фундаментальних понять. Ця теза безпосередньо запозичена із університетського курсу фізики, адже загальновідомо, що одним із найвидатніших досягнень фізики 70-х років є встановлення єдності механізмів фундаментальних взаємодій. Проте формування їх однаково з точки зору методики складно хоча б тому, що наприкінці 90-х років, коли було проведене розглядуване дисертаційне дослідження, достеменно обмінний механізм був вивчений фізичною наукою лише для трьох фундаментальних взаємодій — електромагнітної (переносники — безмасові фотони), сильної взаємодії (переносники — вісім нейтральних глюонів), слабкої взаємодії (переносники — проміжні бозони). Переносником гравітаційної взаємодії на той час вважалась гіпотетична частинка «безмасовий гравітон», виявлення якого пов'язували із фіксацією гравітаційних хвиль. Однак, гравітаційні хвилі, як відомо, були зафіксовані лише у вересні 2015 року в лазерно-інтерферометричній гравітаційно-хвильовій лабораторії LIGO у Сполучених Штатах. За це фундаментальне відкриття американські фізики Райнер Вайс, Барі Баріш та Кіп Торн отримали Нобелівську премію 2017 року. Отже, вивчення на той час гіпотетичних частинок, непідтверджених експериментально, видається досить сумнівним із точки зору методики, а з іншого боку вивчення обмінного механізму вимагає залучення складних для учнів понять, що не передбачені навчальними програмами з фізики — «глюонів» та «проміжних бозонів».

Друга група методичних проблем пов'язана із ненаочностю

складних наукових понять (фундаментальних понять). Фундаментальні поняття досить складно унаочнити, а тому розпочинати їх формування із чуттєвого досвіду немає можливості. Тому для їх вивчення на уроках фізики слід очевидно вдаватися до нових підходів, які відрізнятимуться від тих, що розроблені у працях більшості науковців (Г.С. Костюка, А.В. Усової, П.Я. Гальперина, Н.Ф. Тализіної, Н.О. Родіної, М. Н. Шардакова та багатьох інших). Проте, у методичних рекомендаціях автор пропонує формувати складні наукові поняття (фундаментальні поняття) за усталеною методикою [23, 24].

Аналіз навчальних програм та підручників показав, що деякі пропоновані до вивчення фундаментальні поняття не пов'язані із тими поняттями, покращення формування яких необхідно здійснити згідно з навчальною програмою. Наприклад, можливо існує кореляція між калібрувальними бозонами та корпускулярно-хвильовим дуалізмом з точки зору методики формування цих понять, проте чи існує причинно-наслідковий зв'язок між ними, який би безсумнівно і точно забезпечував успішність правильного формування в учнів уявлення про корпускулярно-хвильовий дуалізм світла (або частинок), — невідомо, і автор про цей зв'язок (або його відсутність) не згадує.

У методичних рекомендаціях [23] щодо формування у школярів системи фундаментальних понять немає власне рекомендацій, як саме подолати методичні труднощі, описані вище. Автор наводить лише зміст фундаментальних понять, а методика їх формування залишається поза увагою дослідника.

Дисертаційне дослідження М.І. Садового [239] присвячене узгодженню сучасного змісту класичних та новітніх знань з одного боку та змісту й структури шкільного курсу фізики з іншого. З цією метою пропонується методична система формування знань про дискретність і неперервність у курсі фізики загальноосвітньої школи за схемою пошуково-креативного навчання, взаємозв'язку класичного та квантового у пізнанні учнів [238, с. 8]. Ця методична система ґрунтується на концепції, що представлена наступними положеннями:

- центральне місце в системі наукового знання та освіти займають провідні ідеї, наукові теорії та поняття;
- дидактичні вимоги до структури та змісту навчального матеріалу шкільного курсу фізики ґрунтуються на осмисленні суб'єктами пізнання їх внутрішніх структурно-функціональних зв'язків;
- фундаментальні поняття та відповідні фізичні теорії відіграють

провідну роль у формуванні науково-теоретичного способу мислення учнів;

- навчальна діяльність учнів, спрямована на засвоєння усіх складових теорії, віддзеркалює цілісну картину пізнання класичного та квантового, а їх співвідношення у шкільному курсі фізики процесуально визначається повним пізнавальним циклом;
- навчальна діяльність учнів, спрямована на отримання структурованих знань, відповідає основному психологічному закону цілісності в онтогенезі;
- концепція 12-річної освіти ґрунтується на трьох аспектах: спонтанному абстрагуванні й узагальненні; побудові абстрактних моделей, формалізації; висунення гіпотез про істотні ознаки певного класу понять, дій та теорій;
- єдність емпіричного та теоретичного в рамках моделі змісту методики вивчення курсу фізики можливе завдяки системному підходу щодо побудови цього курсу.

У розглядуваному дослідженні показано, що фізична теорія може виступати в якості основного елементу для вироблення «раціональної методики навчання» шляхом наскрізного вивчення співвідношення та взаємозв'язку перервного та неперервного у фізиці, в основу якого покладено єдність змістового і процесуального компонентів навчального процесу. Показано, що методологія сучасної фізики не може бути перенесена у навчальний процес без відповідної педагогічної адаптації до реалій шкільної практики. Причому автор підкреслює зміну акцентів — з техногенного напрямку на гуманістично-екологічний, що ґрунтується на поглибленому міждисциплінарному вивченні тенденцій розвитку освіти у загальнонауковому аспекті [239]. Проте це дослідження та його результати не вийшли за рамки знаннєвої парадигми, оскільки основна проблема формування знань вирішується через відбір та історико-генетичну реконструкцію фундаментальних фізичних теорій: класичної механіки, молекулярно-кінетичної теорії речовини, електромагнітної та квантової теорій. Також передбачалося, що в представлений методичній системі формування фундаментальних понять здійснюватиметься у напрямку їх теоретичного узагальнення, виявлення таких фундаментальних понять, які будуть забезпечувати послідовне наскрізне вивчення сучасного фізичного змісту природних явищ та реалізацію єдиного підходу до вивчення класичних і

квантових явищ. Таким чином, пропонувалося лише змістове переформатування шкільного курсу фізики з тим, щоб навчальний матеріал викладати як наскрізне вивчення ідей, які базуються на усвідомленому формуванні в учнів наукових методів пізнання фізики: моделювання, симетрії, відносності, відповідності, аналогії, ідеалізації, доповнюваності, системності, подібності тощо. Проте, такий підхід не передбачав суттєвих змін поза знанєвою парадигмою, а лише формальні зміни всередині методичної системи. Причому ці зміни стосувалися не до засвоєння учнями елементів фізичних теорій на новому рівні (цьому були вже присвячені чисельні дослідження інших авторів), а на встановлення як найбільшої кількості зв'язків між змістовими елементами цих теорій. На думку М.І. Садового, такими елементами мають бути «фундаментальні фізичні теорії, принципи, закони, які несуть на собі відбиток відповідних (відносних) теоретичних рівнів і можуть бути покладені в основу вивчення як класичних, так і квантових за змістом курсів» [238, с. 9]. Таким чином, автор логічно замкнув коло і вивчення теорій пропонується здійснювати через оволодіння класичними аксіомами і квантовими ідеями структури природних явищ, «ідей аксіоматичного, гіпотетичного, емпіричного та постулативного підходів до побудови складових фундаментальних теорій, які забезпечують циклічність та генералізацію навчального процесу» [239, с.12].

Загалом це дослідження було спрямоване не стільки на пошук нових підходів у вивченні фізичних теорій, а з'ясування нових зв'язків всередині тогочасної системи, шляхом структурування навчального матеріалу шкільного курсу фізики навколо фундаментальних понять і «теорій наскрізного пізнання взаємозв'язку та співвідношення класичного і квантового». Причому автор приходить подекуди до парадоксальних висновків, зокрема, про необхідність вивчення класичних та квантових уявлень на єдиній науково-методичній основі.

Дисертаційне дослідження М.І. Садового є свідченням того, що знанєва парадигма себе вичерпала і пошук нових шляхів подолання проблем у вивченні шкільного курсу фізики відтепер має виходити за межі моделі навчального пізнання з вивчення фундаментальних фізичних теорій.

Показово, що розглянуті тут дослідження мають спільний підхід до вирішення проблеми формування наукового-теоретичного стилю мислення у старшокласників. Суть цього підходу полягає в

тому, щоб підібрати систему фундаментальних понять, вивчення яких покращить засвоєння інших понять, передбачених навчальною програмою, а також дозволить сформувати в учнів науковий стиль мислення. У Б.Є. Будного [26] таким фундаментальним поняттям відводиться роль «синтезуючих узагальнень» шкільного курсу фізики, а на думку М.І. Садового [239] залучені до вивчення нові фундаментальні поняття мали б забезпечувати послідовне «наскрізне вивчення» сучасного фізичного змісту природних явищ та реалізувати єдиний підхід до вивчення класичних і квантових явищ.

1.2. Сучасні тенденції розвитку методичної системи навчання квантової фізики в старшій школі

Розбудова української школи, започаткована в нашій державі наприкінці ХХ століття, відбувається на засадах національного відродження та у напрямку, який загалом орієнтований на світові тенденції розвитку освітніх систем. Концептуальні засади навчання квантової фізики визначаються з одного боку світовими тенденціями розвитку різних систем освіти, а з іншого — 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, — 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 усі 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 квантової фізики, що відповідають сучасним тенденціям розвитку фізичної освіти в загальноосвітній старшій школі.

1. Переорієнтація освітніх систем із формування фізичних знань, умінь і навичок на формування компетентностей.

У середині ХХ століття розвиток освітніх систем 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

знаннєва 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 склалась як освіта індустріального суспільства, що характеризувалась детермінуванням пізнання, однозначності оцінок, технократичним підходом до вивчення природничо-математичних дисциплін. У сучасній 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 XXI століття найбільш розвинуті країни (США, Велика Британія, Канада, Угорщина та інші країни східної Європи) розпочали ґрунтовну дискусію, яку було продовжено на міжнародному рівні. Предмет дискусії — як учнів озброїти знаннями, вміннями і навичками, щоб це дозволило забезпечити гармонійну взаємодію майбутнього громадянина суспільства із технологіями, що швидко розвиваються [195]. 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 і культурному розвитку особистості, формуванню в неї здатності швидко реагувати на запити часу.

Помітний внесок у систематизацію та узагальнення досвіду багатьох країн було зроблено групою експертів, які ще у 1997 р. започаткували програму «Визначення та відбір компетентностей: теоретичні й концептуальні засади» («DeSeCo») [348]. У редакції експертів цієї програми компетентність містить в собі знання, вміння і практичні навички, пізнавальні ставлення і цінності, поведінкові компоненти. Усе це разом дозволяє активізувати особистість для

активних дій з метою успішного забезпечення індивідуальних та соціальних потреб та виконання поставлених завдань.

У рамках «DeSeCo» визначено критерії, які окреслюють переліки ключових компетентностей. До них належать наступні.

I. Автономна дія. Ця категорія передбачає визначення ключової компетентності, яка враховує розвиток особистості за умови її автономії у виборі дій для розв'язання поставлених завдань. Особистість, яка володіє такою ключовою компетентністю, здатна:

1) захищати права та інтереси, дбати про потреби інших, робити громадянський вибір;

2) керувати власними діями через планування відповідних проектів, обґрунтування особистісних цілей тощо;

3) усвідомлено діяти в інших системах, чітко забезпечувати власну позицію в них та уміти уникати дисгармонії через врахування різних чинників в своїх діях.

II. Інтерактивне використання засобів. До цієї сфери належать ключові компетентності:

- здатність ефективно використовувати мови та символи у різних формах та ситуаціях, що дозволяє через ефективну взаємодію з навколишнім світом досягати поставленої мети;
- здатність застосовувати знання для прийняття рішень та активних дій;
- здатність застосовувати інтерактивні технології з метою реагування на зміни у повсякденному житті.

III. Вміння функціонувати в соціально гетерогенних групах. Даний критерій передбачає взаємодію з людьми, що відрізняються за поглядами, спілкуються іншими мовами тощо. Відповідно до цієї вимоги, мають бути сформовані наступні ключові компетенції:

1) здатність успішно взаємодіяти з іншими і як результат — проявляти ініціативу, підтримувати й керувати взаєминами з іншими особами полікультурного суспільства;

2) здатність до співпраці з метою спільного вирішення різних проблем;

3) сприймання конфлікту як одного з об'єктів людських взаємин та їх конструктивне розв'язання на цій основі [348].

Слід підкреслити, що більшість зарубіжних учених вказують на особистісно орієнтований характер ключових компетентностей. Останні мають бути прийнятними і доступними для оволодіння усіма членами суспільства незалежно від статі, раси, мови, культури,

соціального статусу тощо.

Питання компетентнісного підходу серед українських вчених розглядалися у працях І.В. Бургун, В.Ф. Заболотного, І.В. Коробової, О.І. Локшиної, О.І. Ляшенка, О.М. Ніколаєва, О.В. Овчарук, О.І. Пометун, О.Я. Савченко, О.М. Семерні та багатьох інших.

Зміст поняття компетентності О.І. Пометун визначає у процесуальному контексті, а саме, як навчальну діяльність засвоєння знань, умінь і навичок, яка складається з певних операцій. Рефлексія на цих діях та усвідомлення їх значущості для особистості чи суспільства, призводить до формування компетентностей в тій чи іншій сфері буття. Звідси під компетентністю можна розуміти «спеціальним шляхом структуровані набори знань, умінь, навичок і ставлень, що набуваються у процесі навчання» [195, с. 66]. Інакше кажучи, компетентності дозволяють особистості самостійно ідентифікувати та успішно розв'язувати фахові завдання незалежно від початкових умов та від сфери діяльності. Дещо інший погляд на компетентнісний підхід викладено у працях А.В. Хуторського. Ним уведено в науковий обіг поняття “освітні компетенції” з метою розв'язання загальновідомої проблеми застосування учнями теоретичних знань на практиці. Учений наголошує, що компетенція не лише індивідуально-психологічна особливість, а загальна якість, що вводиться як освітня норма для усіх учнів. Розмежовуючи «компетентність» і «компетенцію», А.В.Хуторський наголошує на необхідності оперування у навчальному процесі поняттям освітньої компетентності, яка на його думку є вимогою до освітньої підготовки, що представлена через сукупність «взаємопов'язаних змістових орієнтацій, знань, умінь, навичок і досвіду діяльності учня у відношенні до певного кола об'єктів реальної дійсності» [119, с.135]. Інші російські дослідники пропонують визначати компетентність через поняття «здатність», як загальну здатність, що заснована на знаннях, досвіді, цінностях, схильностях, які були набуті у процесі навчання [323].

І.В. Бургун структуру навчально-пізнавальної компетентності учнів основної школи визначає через наступні взаємопов'язані компоненти:

- мотиваційно-ціннісний: навчально-пізнавальні потреби, навчально-пізнавальні мотиви (інтереси, цінності);
- когнітивний: уявлення учнів про практико-орієнтовані проблеми, що розв'язуються засобами фізики, фізичні та

методологічні знання, зокрема знання про навчально-дослідницьку діяльність, їх структуру та методи;

- діяльнісний: загальнонавчальні вміння (навчально-управлінські, навчально-пізнавальні);
- досвідний: цілеспрямований процес успішного/неуспішного виконання навчально-пізнавальної діяльності, спрямованої на розвиток у школярів умінь мобілізувати власний суб'єктний досвід для розв'язання навчально-пізнавальних проблем [27, с. 15].

На думку В.Ф. Заболотного відмінність між знаннями та компетентностями полягає в тому, що останні мають практико-орієнтований характер, а тому, крім системи теоретичних та прикладних знань, вони включають когнітивну та операційно-технологічну складові — «система знань у дії» [87, с. 12].

І.В. Коробова розробила досвідно-діялісну модель методичної компетентності вчителя фізики [115]. Вказана модель відповідає структурі індивідуального досвіду, а тому дозволяє визначити зміст, рівні сформованості та етапи формування методичної компетентності майбутнього учителя фізики. Означена модель компетентності має наступні складові: 1) пізнавальний досвід (інформаційні та процедурні знання); 2) функціональний досвід (окремі методичні вміння); 3) діялісно-поведінковий досвід (досвід цілісної методичної діяльності); 4) досвід сенсоутворення (спонукальна сила навчання, праці); 5) оцінювальний досвід (досвід ставлення до «іншого»). Пізнавальний досвід є нижчим рівнем функціонального досвіду, який також є основою досвіду цілісної методичної діяльності. На кожному із вказаних рівнів набуття індивідуального досвіду відбувається за схемою: сенсоутворення (рефлексія) → виконання дій (функцій) → виконання цілісної методичної діяльності → аналіз та самоаналіз дій (рефлексія) [115, с. 11].

О.М. Семерня визначає методичну компетентність у контексті фахової підготовки майбутніх учителів фізики через навчальну діяльність, що передбачає тісний взаємозв'язок між: 1) теорією, практикою, експериментом; 2) позааудиторною роботою студентів: самостійна робота, індивідуальні науково-дослідні завдання, індивідуальні проекти; 3) виробничою практикою студентів у школах, літніх оздоровчих дитячих таборах; 4) підготовкою наукових доповідей, презентацій, диспутів, виступів на студентських конференціях, семінарах, симпозіумах; 5) оперативним, поточним,

тематичним, підсумковим контролюванням рівня навчальних досягнень студентів; 6) корекцією професійних здобутків фахівця; 7) всебічним розвитком особистості в інтелектуальному, соціальному, індивідуальному, світоглядному, матеріальному, духовному аспектах [243].

Поняття «компетенція» та «компетентність» часто розглядають як окремі категорії із неоднаковим змістовим наповненням.

Поняття «компетентність» на думку деяких зарубіжних дослідників (М.Є. Бершадський, О.М. Новіков та інші), не містить ніяких принципово нових компонентів, які не входять в поняття “уміння” [172, 173]. Звідси випливає висновок: усі дискусії навколо змісту понять «компетентність» і «компетенція» є дещо штучними. Протилежна думка базується на інтуїтивному розумінні того, що саме компетентнісний підхід у всіх сенсах та аспектах найбільш повно віддзеркалює основні аспекти модернізації сучасної системи освіти (Б.Д. Ельконін, В.В. Краєвський А.В. Хуторський, та інші) [119, 318]. Причому в межах цього погляду на проблему компетентнісної освіти стверджується наступне:

- компетентнісний підхід дає відповіді на запити виробничої сфери;
- компетентнісний підхід проявляється як оновлення змісту освіти у відповідь на швидкоплинну соціально-економічну реальність;
- компетентнісний підхід є узагальненою умовою здібностей людини ефективно діяти за межами навчальних ситуацій;
- компетентність є радикальним засобом модернізації освіти;
- компетентність характеризується можливістю переносу здібності в умови, відмінні від тих, де вона формувалась;
- компетентність найчастіше визначається як готовність спеціаліста включитися в певну діяльність або як атрибут підготовки до майбутньої професійної діяльності.

Український вчений О.М. Ніколаєв розмежовує поняття «компетенція» і «компетентність» через взаємозв'язок цих понять: компетенція — потенціальна міра інтелектуальних, духовно-культурних, світоглядних та креативних можливостей індивіда, а компетентність — реалізація цих можливостей через навчальну діяльність (розв'язування навчальних проблем, створення проекту, обстоювання точки зору тощо) [169].

На думку експертів Міжнародної комісії Ради Європи поняття

компетентності має передбачати спроможність особистості сприймати та відповідати на індивідуальні та соціальні потреби і водночас наявність у неї необхідних для цього комплексу ставлень — цінностей, знань, умінь і навичок. Більшість зарубіжних вчених дійшли згоди щодо означення компетентності як “здатність застосовувати уміння та вміння ефективно й творчо в міжособистісних відносинах — ситуаціях, що передбачають взаємодію з іншими людьми в соціальному контексті так само, як і в професійних ситуаціях. Компетентність — поняття, що логічно походить від ставлень до цінностей, та від умінь до знань” [113, с.7]. Згідно з визначенням Міжнародного департаменту стандартів для навчання, досягнення та освіти (International Board of Standards for Training. Performance and instruction (IBSTPI)) компетентність являє собою спроможність кваліфіковано здійснювати діяльність, виконувати завдання та роботу. У цьому означенні зміст поняття компетентності містить не лише сукупність знань і відповідних навичок, а й ставлень, що дозволяють фахівцеві адекватно діяти та успішно виконувати фахові функції за певних обставин, що відповідають певним стандартам. Для оцінювання компетентностей пропонується виокремити такі складові, як знання, вміння, навички та навчальні досягнення [195].

Більшість зарубіжних науковців вказують на необхідність створення системи ключових компетентностей, які пов'язані з цільовим застосуванням комплексу знань, умінь і навичок щодо певного кола міждисциплінарних проблем. Ключові компетентності повинні відповідати вимогам поліфункціональності (здатні допомагати у розв'язку завдань у різних сферах суспільного життя), надпредметності, багатовекторності (включають не лише знання, а й творчі стратегії, технології, певні інтелектуальні навчальні вміння тощо), забезпечувати розвиток особистості у багатьох аспектах (логічного та критичного мислення, здатності до самоідентифікації через рефлексію, самовиховання тощо) [113]. Таке бачення ключових компетентностей дало підстави розглядати їх як важливі чинники, що дають змогу особистості (що ними володіє) досягати успіхів у житті; сприяють створенню та підвищують якість суспільних інститутів; створюють передумови виникнення середовища для інноваційних перетворень в умовах глобальної конкуренції.

Проведений аналіз змісту понять “компетентність”, “компетенція”, “освітні компетенції” дозволив виокремити відповідні

положення, які були враховані при створенні методичної системи вивчення квантової фізики у профільній школі:

- Предтечі сучасних уявлень компетентнісного підходу вважаються ідеї загального і особистісного розвитку, сформульовані в контексті психолого-педагогічних концепцій розвивального навчання, особистісно-орієнтованої освіти. У цьому ж контексті компетентнісний підхід розглядається як протидія занадто широкій багатопредметності, “предметного феодалізму”.
- Категоріальна база компетентнісного підходу безпосередньо пов'язана з ідеями цілепокладання освітнього процесу.
- Російськими дослідниками всередині компетентнісного підходу виокремлено два базових поняття: компетенція і компетентність. Перше включає сукупність взаємопов'язаних якостей особистості, що задаються як критерії у відношенні до певного кола предметів та процесів у відповідних нормативних документах та положеннях. Друге поняття співвідноситься із володінням людиною відповідної компетенції, що включає його особистісне ставлення до неї та предмету діяльності. Такий поділ є недоречним з огляду переобтяження і ускладнення змісту самого поняття, тому нами обрано орієнтацію на європейський варіант означення компетентності.
- Вченими окремо виділяється поняття “освітня компетентність”.
- Загалом компетентнісний підхід розглядається як корелят множини більш традиційних підходів, зокрема культурологічного, науково-освітнього, дидакто-центричного, функціонально-комунікативного та інших.
- У вітчизняній освіті переважають концепції, що за філософським спрямуванням є об'єкт-центричними, тобто у більшості освітніх концепцій основним елементом змісту освіти є об'єкти і знання про них. Відповідно концептуальні положення компетентнісного підходу у вітчизняній системі освіти визначаються переважно як спосіб діяльності у відношенні певних об'єктів. Натомість досвід формування компетентнісного підходу у країнах Європи і США, свідчить, що тут на перший план висувається концепція операції, яка відноситься не до об'єкту (реального об'єкту або процесу), а до ситуації, яка представляється як певна проблема. У такому разі об'єкти набувають іншого статусу: вони не є об'єктами у

феноменологічному сенсі, які мають бути упізнанні, описані і класифіковані, а реально створеними самими учнями (плани, відгуки, есе, аналітичні записки, розв'язки задач, творчі проекти у вигляді презентацій та портфоліо, моделі фізичних пристроїв, явищ чи процесів тощо) і бути свідченням того, що школярі оволоділи певними компетентностями.

- У рамках пропонованої методичної системи нами було запропоновано наступну структурно-логічну схему поняття “освітня компетентність”: 1) наукове поняття (або система понять); 2) предметні навички і вміння, пов'язані з відповідним фізичним поняттям; 3) досвід учня з оперування цим поняттям (чи системою понять) у вирішенні практичних завдань; 4) ціннісне ставлення учня до системи набутих понять. Отже, за такої структури з'являється можливість розробити методику вивчення елементів квантової фізики для різних профілів не лише через різне змістове навантаження, зокрема підвищеного рівня математичного апарату, вищий рівень наукових понять, що вивчаються, а через буденне знання, особистісно орієнтоване знання та ціннісне ставлення та готовність старшокласників використовувати отримані знання.

2. У вивченні фізики, зокрема квантової фізики, переважають 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 становлення цієї галузі знань показав, що в останній третині XX століття намітилася досить плідна, на наш погляд, тенденція до об'єднання різних картин світу, які сформовані різними галузями природничих наук в єдину наукову картину світу. Так, 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 [106, 159, 275, 276 та інші]. У синтезі наукових знань починають превалювати принципи універсального еволюціонізму, які відіграють роль каталізаторів із 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 у явному вигляді не включала до переліку фундаментальних принципів принцип розвитку [276]. Це призвело спочатку до того, що у ХІХ столітті виявилась його парадигмальна несумісність з основними фундаментальними принципами (законами) класичної фізики. 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 відстоює ідею розвитку: створення у 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 стосуються 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. Вказаний перехід вимагав спростування також “інфрачервоної смерті” Всесвіту шляхом уведення М. Планком гіпотези про квант найменшої дії, що призвело зрештою до створення квантової теорії.

Отже, ціла низка наукових революцій (теорія відносності, квантова теорія, теорія нестаціонарного Всесвіту) призвели до розробки фізиками еволюційної моделі Всесвіту. Так, згідно з теорією Великого вибуху близько 20 млрд. років тому з точки сингулярності почалось розширення Всесвіту, який був спочатку гарячим і з високою густиною міжзоряної речовини. З плином часу внаслідок

розширення Всесвіту, речовина охолоджувалась і конденсувалась у галактики. Галактики дробились на окремі скупчення, у яких утворювалися зірки, після першого покоління яких синтезувалися важкі елементи. Зірки перетворювалися у червоні гіганти, що викидали речовину у вигляді газово-пилових хмар — матеріал для утворення нового покоління зірок і тощо. Еволюційна космологія зародилась 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. Ця модель розроблена на стику сучасної космології і квантової фізики. Ключовим елементом цієї моделі є “інфляційна фаза” — стадія прискореного розширення. Протягом 10^{-32} с діаметр Всесвіту збільшився у 10^{50} разів. Після інфляційної фази встановилась фаза з порушеною симетрією, що призвело до народження величезної кількості елементарних частинок [70]. 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 відбуваються ряд фазових переходів, при яких змінюються властивості елементарних частинок, що входять до складу надщільної речовини. Отже, існує зв'язок між еволюцією Всесвіту та процесом 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 [17, 129].

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 [275].

Модель нестационарного Всесвіту помітно трансформувала сучасні наукові уявлення про навколишній світ. Вона 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 теперішньої об'єднанням когнітивних та ціннісних параметрів природничо-наукового пізнання. Це піднімає питання про місце людини в природі, розгляд її не як дослідника, що змінює природу, а аналіз людської діяльності в функціонуванні історично складених систем, освоєних в людській діяльності та привносить у наукове знання новий гуманістичний сенс [276].

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 спрямована перетворювальна діяльність людини. Якщо культура техногенної цивілізації передбачала “спілкування” людини з природою лише у вигляді монологу, то відтепер це має бути діалог.

3. Посилення системного підходу у вивченні квантової фізики.

Новий імпульс концепція еволюціонізму отримала після виникнення у 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 у 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 навколишнім середовищем, аналіз властивостей складових елементів системи як цілісного утворення та взаємозв'язок між ними. Одним із вдалих застосувань системного підходу у методиці навчання є загальновідома 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 щодо 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 тип суперечностей пов'язаний з різними принципами і характеризує 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 відносимо: 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 та 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 з 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 просто знання чи певні уявлення, а ключові та предметні компетентності.

4. У вивченні квантової фізики починають переважати відомості про сучасні технології (інформаційні технології, нанотехнології, технологій передачі інформації тощо). У зв'язку з цим, вивчення фізики необхідно узгоджувати зі зростаючим впливом новітніх інформаційних, наприклад, інтернет-технологій. Для цього доцільно показувати зародження цих технологій та їх зв'язок із 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 фізиків. Принагідно наведемо 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 цьому 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)” [53, 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 із 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 взірєць 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 достеменно знаємо про ці закони, не перевищує того, що ми знали про них в 1970-ті роки” [264, с.11]. Такий стан розвитку фізичної науки визнається багатьма вченими. Сучасний розвиток науки у більшій мірі спрямований на “технологічний” розвиток. Якщо ХІХ століття і початок ХХ століття можна назвати епохою наукових революцій, то кінець минулого століття і початок ХХІ століття можна назвати епохою технологій. На цьому тлі фізичні теорії варто вивчати у

контексті їх техніко-прикладного застосування.

Друга група чинників, які виступають у ролі визначника напрямку розвитку системи освіти, і зокрема фізичної освіти в Україні, пов'язані з впливом розвитку науки на життя суспільства в цілому.

Як свідчить історія розвитку фізичної науки, її революційні успіхи мають довготермінові наслідки не лише в контексті соціально-економічних та політичних позитивних зрушень. Поряд із утилітарно-прагматичними вигодами, існують загрози глобального характеру, породжені швидкими темпами розвитку індустрії наукомістких технологій. Яке саме забарвлення – позитивне чи негативне – матиме застосування наукових досягнень сповна залежить від соціально-філософської рефлексії наукової та освітянської громадськості в цілому. Останнє твердження справедливе «а ргіогі», оскільки загальновідомо, що стрімкий розвиток наукомістких технологій, породжених фундаментальною наукою, визначає людську цивілізацію, як «цивілізацію знання». Протягом усього періоду її розвитку за різних історичних епох, знання як філософська категорія, набувала різних змістових навантажень [137]. Так, за доби середньовіччя знання слугувало допоміжним знаряддям для служіння ідеалістично-релігійним ідеалам. Поступово, протягом кількох століть, відносно швидкий розвиток науки змінив соціальний статус знання «мудрості» і «науки» на «силу» і «владу». Загальноприйнятною стала думка про те, що накопичення знань є запорукою зростання всезагального добробуту. Сьогодні знання як соціальна категорія стає безпековим гарантом, оскільки інформаційне суспільство диктує власні вимоги і головною серед інших є вимога володіння інформацією для швидкого реагування та адекватних активних дій на виклики часу. Отже, наукове знання набуває нового статусу в соціокультурному інтер'єрі постмодерну.

Науково-технічний розвиток створив передумови до виникнення технологій, що запускають процеси квантового рівня. Ці технології дозволяють людині технологічно керувати процесами, які беруть свій початок у світі елементарних частинок і атомних структур. Практичне застосування означених технологій відбувається на рівні об'єктів, що існують у нанометровому масштабі та підпорядковуються законам квантової теорії. В останнє десятиріччя «нанотехнології» набули статусу «технологій третього тисячоріччя». У філософській літературі існують подекуди занадто оптимістичні прогнози щодо впливу

нанотехнологій на подальший розвиток усіх сфер людського буття аж до «зміщення процесу відтворення людства з еволюційної траєкторії, котру пророкували мислителі доби Просвітництва» [137, с.147]. Не розділяючи такий оптимізм у повній мірі, слід, однак, визнати, що поступово людське буття стає все більш зануреним і нерозривно пов'язаним із нанотехнологіями, що передбачають маніпуляції структурами молекулярного та атомного рівня. Це породжує цілу низку нанотехнологій, які дозволяють конструювати і виробляти електронні мікрочіпи з розмірами зрівняними з молекулярними, ультратонкі діодні дисплеї для мобільних телефонів і комп'ютерів, антибактеріальні й антикорозійні емульсії, лабораторне устаткування для аналізу молекул ДНК тощо. До технологій «третього тисячоліття» належать наукомісткі технології, які поступово охоплюють усі сфери життя пересічного громадянина — від виробництва нейрочіпів до наномедичних технологій.

Незалежно від обраної професії в майбутньому, кожен випускник школи є потенційним користувачем згаданих технологій, якщо не у фаховому, то, щонайменше, у соціальному та інших аспектах. Це тягне за собою ряд нових проблем, що стосуються освітніх стратегій і беруть свій початок від зміни філософської парадигми «турботи про людину».

Невичерпні запаси енергії, речовини та інформації, що містяться у наносвіті, надходять у макросвіт і перетворюються на ресурси мегасоціуму, а відтак стають об'єктом користування пересічних громадян. Як уже згадувалося вище, завжди існували екзистенціальні побоювання валу глобальних катастроф від хімічного отруєння ґрунтів до наслідків освоєння енергії атома, які є наслідком науково-технічного прогресу людства. На цьому тлі панівною була стратегія «турботи про себе», яка є проявом ставлення людини до свого буття і яка проявляється через стурбованість людини прийдешньою долею її геному, політикою генетичної, антропологічної та етичної самоідентифікації. Зрештою, турбота про себе проявляється через практику свободи, коли людина поліпшує своє онтологічне існування за допомогою все більш потужних технологій. Останнім часом серед провідних філософів ХХІ ст. актуальним є нове усвідомлення того, що першопричини глобальних катастроф криються не у самих наслідках науково-технічного прогресу, а в хибних положеннях концепції турботи людини про своє буття. Особливо цікавою є ідея про зв'язок між дослідженням

етичних проблем та сучасними досягненнями нанотехнологій, що практично нівелює етичні погляди від Платона до Шелера [там само]. Слід підкреслити, що проблема формування ключових компетентностей набуває більш глибокого змісту саме в контексті швидкого розвитку наукомістких технологій та необхідності реалізації програми турботи людини про своє життя, здоров'я та бажання жити у гармонії із Природою. З огляду на це випускники шкіл мають оволодівати ключовими компетентностями, що дозволять їм таким чином поєднувати знання, уміння, навички, власні погляди, ціннісні орієнтації та способи мислення, щоб реалізувати вказану програму. Уявлення про те, що в практиці сучасної школи від знання як дидактичної категорії слід відмовитись і натомість зосередитись на формуванні компетентностей є занадто спрощеним і взагалі позбавленим сенсу. Якщо знання розглядати не як застиглий у часі масив даних, а як процес зміни стану ноосфери, то слід підкреслити зміну напрямку цього процесу щодо досягнення головної мети освітньої парадигми — навчання не заради накопичення знань, а набуття учнями знання як складової частини ключових компетентностей, які дозволять у майбутньому їм, як відповідальним громадянам суспільства, впливати та визначати напрямок вектору удосконалення ноосфери спільними зусиллями в інтересах як людства в цілому, так і кожної людини. Можемо стверджувати, що правильне розв'язання множини науково-методичних проблем зі створення компетентнісного підходу у вивченні дисциплін науково-природничого циклу, дозволить розв'язати питання суто практичного спрямування, пов'язаних із підвищенням ринкової конкурентної спроможності майбутніх фахівців та створенням суспільних інститутів якісно нових змін у житті суспільства. Водночас, представлення результатів навчання у вигляді компетентностей, покликано вирішувати методичні та методологічні проблеми більш широкого спектру – від етичного виховання до формування світоглядних переконань. У випадку вивчення елементів квантової фізики у старшій школі компетентнісний підхід дозволить вирішити низку проблем профільного навчання – змісту фізичної освіти, профілізації як виду диференційованого навчання, формування понять як передумови утворення відповідних компетентностей у старшокласників.

1.3. Психолого-педагогічні особливості формування фізичних понять квантової фізики

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 предмету з наступним його узагальненням на рівні поняття. З позицій психології теоретичною основою такого підходу можна вважати операціональну 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), передопераціональна (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 [140]. 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: інтуїтивну, що опирається на узагальнююче мислення “внутрішнього досвіду”, демонстративну стадію, що є по суті розмірковуваннями над емпіричними даними “зовнішнього досвіду” і, нарешті, чуттєву, 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, відому ще за працями Я.А. Коменського. Тому недивно, що локківська філософія, яка спирається на здоровий глузд, який у свою чергу керується чуттєвим досвідом, а усі інші філософські течії визнає схоластичними і невартими уваги, була тривалий час панівною серед дидактів та методистів. Теорія навчального пізнання, в основу якої мала б бути покладена така 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.

Яскравим прикладом формування понять саме в такому контексті є поетапне формування понять за М.М. Шардаковим [321], а у методиці фізики — за А.В.Усовою [308]. Структурно формування фізичних понять А.В. Усова представила як сукупність таких етапів:

1. Цілеспрямоване чуттєво-конкретне сприйняття в умовах шкільного навчання. Крім цього вважалося, що таке сприйняття відбувається в різних умовах (домашні спостереження, спостереження організовані учителем під час уроку, спостереження під час перегляду телепередач тощо).

Цілеспрямоване чуттєво-конкретне сприйняття мало б організовуватися учителем таким чином, щоб, крім спостереження за об'єктом вивчення, здійснювати “збагачення спостережень” (за М.М. Шардаковим) з метою здійснення аналізу, порівняння, співставлення одиничних об'єктів із наступним виокремленням у них загальних та індивідуальних рис і властивостей.

2. З'ясування загальних суттєвих властивостей класу спостережуваних об'єктів. Після “збагачення спостережень” і виокремлення спільних загальних ознак розглядуваних предметів, з'ясовують загальні суттєві властивості, наприклад, збільшення об'єму

усіх без винятку тіл — твердих, рідких і газоподібних — при їх нагріванні.

3. Абстрагування. Даний етап А.В. Усова характеризує як засіб для виявлення загального суттєвого для усіх тіл властивостей без конкретизації виду речовини або інших ознак. Наприклад, замість того, щоб кожен раз згадувати про нагрівання води чи сталеві кульки і уточнення зміни об'єму та лінійних розмірів тіл, вводять новий термін “теплове розширення тіл”. Таким чином абстрагування за А.В. Усовою — це ще й відокремлення загального, суттєвого від несуттєвого.

4. Означення поняття (формулювання дефініції). Після абстрагування учитель здійснює означення нового поняття, що є по суті його фіксацією у термінах і через поняття, які учням відомі або через синтез суттєвих ознак, які вже відокремлені у свідомості учнів.

5. Уточнення і закріплення в пам'яті істотних ознак поняття через а) варіювання несуттєвих ознак; б) диференціювання схожих понять; в) застосування контробразу.

6. Встановлення зв'язку даного поняття з іншими поняттями. Розв'язання цієї дидактичної проблеми передбачалося різними шляхами залежно від типу понять.

7. Застосування понять у розв'язуванні елементарних задач навчального характеру. Цей етап мав на меті кілька цілей, а саме: набуття учнями навичок оперування новим поняттям при розв'язуванні простих (тренувальних) задач; уточнення і закріплення знань учнів про зв'язки поняттями з іншими, раніше вивченими; подальше диференціювання (розрізнення) схожих понять.

8. Класифікація понять. Головна мета цього етапу — уточнити та узагальнити знання учнів про зв'язки та відношення групи вже сформованих понять. З іншого боку, учнів знайомили з класифікацією як науковим методом пізнання.

9. Застосування поняття в розв'язуванні задач творчого характеру. Реалізація цього етапу, за задумом А.В. Усової, мала дозволити включати нове поняття з певної теми у більш широку систему понять розділу або цілого курсу, встановлення зв'язків між поняттями різних розділів чи тем.

10. Збагачення поняття на основі виявлення нових суттєвих ознак. Цей етап передбачає ознайомлення з новими поняттями, які

виступають у ролі нових якостей даного поняття. Наприклад, поняття атома збагачується через вивчення в подальшому нових понять про будову атома — ядро, електронна оболонка, емпіричні дані, що свідчать про складну структуру атома. Далі учні отримують уявлення про структуру ядра через вивчення нових понять (нуклони, ядерні сили та ін.). Усе це, за А.В. Усовою, є збагаченням поняття (в наведеному прикладі поняття атома) новими ознаками.

11. Повторне, більш повне визначення поняття. Оскільки під час формування поняття учні засвоювали нові його ознаки, що відбиваються у свідомості учнів нові суттєві властивості, дається нова дефініція або така, що доповнює попереднє означення.

12. Формування нових понять з опорою на дане поняття. Цей етап реалізує принцип наступності у розгортанні логіки навчального матеріалу та включає в себе формування нового поняття (наступного).

13. Нове збагачення поняття через вивчення нових понять чи класів понять, які відбивають нові якості цього поняття.

14. Встановлення нових зв'язків та відношень цього поняття з новими класами понять.

Етапи 12 — 13 створюють умови перманентного процесу формування поняття. Тобто формування поняття, по суті ніколи не зупинятиметься, оскільки під час навчального процесу або професійної діяльності індивіду завжди з'являтимуться нові поняття, які будуть збагачуватись через це поняття і водночас воно буде набувати ширшого і більш глибокого змісту за рахунок появи цих нових понять.

А.В. Усова відзначала, що дотримання строгої послідовності наведених етапів не обов'язково. Методи реалізації етапів формування поняття теж можуть різнитися в залежності від багатьох факторів — від змісту самого поняття до індивідуальних особливостей учнів, наявної у них поняттєвої бази. Однак вилучення хоча б одного етапу, на думку А.В. Усової, призведе до труднощів засвоєння поняття, що буде помітно при його застосуванні під час розв'язування задач та формуванні наступних понять.

Вказана послідовність етапів формування понять скеровує розгортання навчального матеріалу у напрямку від чуттєвого сприйняття до узагальнення на рівні понять. Попри ефективність індуктивно-споглядального підходу в умовах пропедевтичного вивчення фізичних теорій в основній школі, даний підхід накладає суттєві обмеження на формування складних наукових понять.

О.І. Ляшенко вказує на спрощене трактування наукового фізичного знання, що в контексті теорії емпіричного поняття, запровадженого в дидактиці і методиці навчання фізики, обмежує розвиток фізичного мислення учнів до емпіричного рівня [140]. Цьому ж сприяє підхід, який передбачає формування понять безпосередньо з чуттєвого досвіду, який по суті трансформується у так звані загальні уявлення учнів про предмет вивчення. Причому формування загального уявлення про суб'єкт, яке ще не є поняттям, водночас є необхідним, оскільки учні ще неготові до сприйняття його змісту у вербальній чи знаковій формі в силу складності математичного апарату та змісту самого поняття. Так, на думку А.В. Усової, визначення учителем поняття не переслідує обов'язкове його повне розкриття, а лише охоплення найбільш загальних та відмінних властивостей класу предметів або явищ, що вивчаються. Сповідуючи цей підхід, слід дотримуватися того, щоб відтворення формально-логічного змісту складних наукових понять на різних етапах їх формування визначалися різними дефініціями (різними формулюваннями), які поступово будуть розкривати більш глибокий зміст даного поняття. Методично це є виправдано, оскільки дозволяє формування понять здійснювати спираючись на вже сформовану поняттєву базу та чуттєвий досвід. Однак методологічно даний підхід недосконалий, оскільки призводить до хибного уявлення, що наукове знання розвинулось з буденних уявлень.

Наступне обмеження, що накладається емпіричним методом узагальнення, полягає у неможливості розкриття за його допомогою причин фізичних явищ, механізмів їх протікання. Локківська парадигма в теорії і методиці навчання фізики набула статусу методологічного підґрунтя розвитку фізичного мислення через емпіричний рівень формування понять, коли накопичений чуттєвий досвід трансформується у поняття через узагальнення. Водночас саме узагальнення чуттєвого і закриває безпосередньо сутність того чи іншого явища, процесу, фізичного змісту та механізмів їх утворення, змісту фізичних величин, як характеристик властивостей простору і матерії та явищ, що протікають. Саме в контексті обмеженості емпіричного методу узагальнення В.В. Мултановський вказував на розімкненість схеми емпіричного узагальнення — якщо певна загальна властивість існує у класу предметів, то про неї можна дізнатися не в результаті такого узагальнення [160].

Отже, погоджуючись із важливістю і необхідністю формально-

логічної схеми, яка складає основу мислення, особливо на пропедевтичному етапі вивчення фізики, і є елементом теоретичного способу мислення, слід підкреслити її обмеженість. Вкажемо на ще один такий недолік, який суттєво вплинув на методичні особливості формування понять квантової фізики.

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 невід'ємна частина. Натомість шкільний навчальний експеримент має відбивати науковий метод вивчення 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 механіки, 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 у змісті понять і утворення хибних уявлень про фізичні явища, процеси, фізичні величини тощо. Це особливо помітно у старшій школі при вивченні розділів фізики зі складним науково-теоретичним змістом (МКТ, квантова механіка, СТБ, ядерна фізика та ін.).

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 точки зору дидактики мають крім спільних ознак суттєві відмінності. Так, В.П. Бранський [18] відзначає, що теорія вважається наочною, якщо за допомогою неї вдається показати (продемонструвати) яке-небудь відчуття, що схоже з тим відчуттям, яке представляє досліджуване явище. На наш погляд, 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 виступає 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 репрезентовано у працях А.В. Усової. 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. Витоки цих суто методичних складнощів беруть свій початок зі змісту самих теорій, які виникли на зламі століть.

На кінець ХІХ та на початку ХХ століть у фізиці виникла криза “наочності”, яка набула особливої гостроти з швидким розвитком квантової механіки та фізики високих енергій. Була проголошена концепція “ненаочності” науково-теоретичних понять сучасної фізики, що вважалось методологічним наслідком утворення квантової теорії світла та протиріччями, що виникли між квантовою теорією поля і класичною фізикою (В. Гейзенберг). Використання будь-яких наочностей, аналогій, метафор стало таким собі реліктом мислення класичної фізики (Д. Шодієв). 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 Ейнштейн пояснив механізм протікання явища 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 змінюється, тому змінюється і частота $\nu = \frac{E}{h}$. 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 просто 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. Гейзенберг сформулював принцип невизначеності, який яскраво продемонстрував, що крім “хвиль матерії” ненаочними також є корпускулярні уявлення про матерію, оскільки:

$$\Delta p \cdot \Delta q \geq \frac{h}{2\pi}$$

де Δp — неозначеність у визначенні імпульсу мікрочастинки;

Δq — неозначеність у визначенні координати частинки.

h — стала Планка.

У макрофізиці прийнято вважати, що матеріальна точка має в даний момент часу певну координату і швидкість і, внаслідок цього, її рухові відповідає певна траєкторія. Цей висновок впливає з показів органів чуття людини, тому цілком природно, що рухома частинка в нашій уяві асоціюється з траєкторією, що є сповна наочним. Однак, принцип неозначеності 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 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.

Основним поняттям загальної теорії відносності є інваріант — квадрат інтервалу, який в геометричній інтерпретації є елементом довжини [4]:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - (cdt)^2 = \text{const}$$

У це рівняння входить електромагнітна величина — швидкість світла, водночас відомо, що електромагнітна взаємодія за енергією взаємодії перевищує гравітаційну на 42 порядки. Наведений вище інтервал можна представити у вигляді тензора:

$$ds^2 = (dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2 - (dx^0)^2$$

або в скороченому вигляді: $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$,

при цьому $g_{00} = -1$; $g_{11} = g_{22} = g_{33} = 1$; $g_{ik} = 0$ при $i \neq k$.

Такий вид тензора назвали галілеєвим. Перехід до неінерціальної системи координат, яка зв'язана довільним чином з рухомою системою, означає уведення замість чотиримірних координат нових координат x^{1l} , які зв'язані зі старими через довільні функції:

$$x^{1l} = f^l(x^i).$$

У цьому випадку

$$dx^1 = \frac{\partial x^l}{\partial x^{1l}} dx^{1l}$$

Отже, в новій системі координат

$$ds^2 = g_{1k}^1 dx^{1l} dx^{1k}$$

де $g_{1k}^1 = g_{lm} \frac{\partial x^l}{\partial x^{1l}} \frac{\partial x^m}{\partial x^{1k}}$ метричний тензор у новій неінерціальній системі відліку.

Фундаментальне положення загальної теорії відносності як теорії тяжіння полягає в тому, що при наявності потенціалу гравітаційного поля, створюваного масивними тілами, інтервал має вигляд:

$$ds^2 = g_{ik}^1 dx^{1k} dx^{1k}.$$

Тут слід підкреслити, що компоненти симетричного метричного тензора g_{ik}^1 є функціями, що задовольняють рівнянням гравітаційного поля, а тензор не зводиться до виду галілеєвого. Ступінь кривини неевклідового простору визначається потенціалом тяжіння, оскільки ds геометрично можна інтерпретувати як елемент довжини у просторі-часі, що є неевклідовим. Це означає, що тіла у такому просторі рухаються уздовж криволінійних траєкторій, наприклад, світло буде відхилятися поблизу масивних тіл. Звідси можна зробити цілком логічний висновок: кривина руху тіл і явище тяжіння є наслідками кривини простору в даній його точці. Якщо в певну область простору внести масивне тіло, то в околі цього тіла простір-час буде викривленим, що створюватиме потенціал тяжіння [5, 278]. 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 випливає властивість кривини простору-часу, а з цієї кривини пояснюється, що тяжіння є наслідком цієї ж кривини. Отже, таке пояснення не відповідає уявленню “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 ін. розкрити механізм протікання гравітації (точніше — дії гравітаційного поля) не мали успіху. Відповідь очевидна, — усі 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 відкинуто 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 засвоювані учнями відомості покликані вирішувати різні завдання — пізнавальні для учнів та дослідницькі для науковців.

Загальновідомо, що фізична теорія, крім пізнавальних функцій пояснення, систематизації, передбачення виконує також функцію опису, що дозволяє говорити про її наочність *a priori*. 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. Запропонована методична система 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 [19, 22, 37, 50, 72, 73, 140, 181, 182, 224-229, 246, 271, 282, 283, 287, 308, 321].

Для вирішення означеної проблематики, нами було глибше досліджено питання наочності з точки зору методології сучасної науки та гносеології.

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” [61, 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 включає в себе 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.). Вона 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 мисленевий акт слугує засобом абстрактно-логічного мислення. Вище нами було проаналізовано даний аспект з огляду на розвиток некласичної фізики в цілому. Вказаний аналіз показав, що 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 [140]. Засвоєння учнем теоретичних знань залежить не лише від ознайомлення з окремими методами (ідеалізація, моделювання, аналогія тощо), а й від опанування цілісною фізичною теорією [50]. С.І. Вавілов вказував на три групи методів побудови фізичної теорії: метод принципів, метод модельної гіпотези і метод математичної гіпотези [34, с. 156]. Як вже раніше відзначалося, метод модельної гіпотези найбільш близький до гносеологічного циклу суспільно-історичного процесу наукового пізнання фізики: *наукові факти — проблеми — гіпотези — теоретичні висновки, практичне застосування теорії* [181, с.64 — 65].

Поки вивчаються питання, що історично відносяться 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 [55, с.36].

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 (І. Йорданов, О.І. Ляшенко). Теоретичне знання стає об'єктом вивчення через науково-технічне застосування (технологічне знання) та науково-практичне застосування (нові знання і алгоритми діяльності) [140, с.17 — 19].

О.І. Ляшенко цикл наукового пізнання представляє 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) [там само, с.17].

З розвитком квантової теорії було запроваджено кардинально нову методологію наукових досліджень. Головною причиною цього є новий тип об'єкту, що вивчається, і який не схожий на об'єкти класичної фізики. Загальна картина досліджуваної реальності була потрібна науковцям для того, аби визначити стратегію теоретичного пошуку. Становлення і розвиток квантової механіки у напрямку відмінному від класичного, змусив вчених здійснити поворот до нового способу побудови наукової картини світу [276]. Найпомітнішу роль у здійсненні цього перетворення зіграв Н. Бор. Підхід, запропонований цим вченим, полягав у тому, що замість висунення гіпотетичних уявлень про механізм явищ, які потім можна було б переформулювати та конкретизувати як теоретичні гіпотези і експериментально перевірити, пропонувалося здійснити аналіз схем вимірювання, які дозволять виявити теоретичну модель, що розкриває відповідну структуру природи. Характерною ознакою цього підходу є зміна напрямку теоретичного дослідження: спочатку для пояснення кількісних залежностей підбирається із суміжних галузей науки рівняння, що на думку дослідника підходить для даного випадку. Рівняння інтуїтивно видозмінюють, узагальнюючи так, щоб отримати нові співвідношення, які відповідатимуть новим емпіричним даним. У цьому полягає метод математичної гіпотези (екстраполяції) — підбір математичного рівняння, його зміна відповідно до гіпотетичних припущень дослідника, і заключна стадія — змістова інтерпретація отриманого рівняння в термінах розроблюваної теорії. Саме метод математичної гіпотези дозволив відкрити основні закони

квантової механіки. Причому застосування математичної гіпотези не завжди приводить до однакового опису об'єкту, навіть якщо вчені притримуються єдиної точки зору щодо його фізичної природи. Наприклад, Е. Шредингер для опису руху елементарних частинок за основне рівняння прийняв хвильове рівняння класичної фізики, але дав іншу інтерпретацію його членів (хвильовий варіант квантової механіки). Натомість В. Гейзенберг за основу узяв канонічні рівняння Гамільтона із класичної механіки, зберігши їх математичну форму, але увів у ці рівняння новий тип величин — матриці (матричний варіант квантової механіки).

Слід окремо підкреслити, що застосування математичної гіпотези не означає відсутність її емпіричної інтерпретації, а лише зміну послідовності побудови рівнянь, які слід експериментально перевірити. В класичній фізиці спочатку створювалась теоретико-гіпотетична модель, на її основі математична модель, яка у вигляді математичних рівнянь підлягала експериментальній перевірці. У сучасній фізиці цей процес відбувається навпаки: застосовуючи екстраполяцію, створюють математичні рівняння ще до побудови правил відповідності, які пов'язують величини, що входять до цих рівнянь, з об'єктами експерименту.

За такого підходу процес фактологічного опису об'єкту як наочного образу замінюється новою процедурою, яка власне теж є описом, але у формі абстрактно-логічних висловлювань і тверджень. Науково-теоретичне узагальнення формалізоване у вигляді математичних рівнянь, формул, законів дозволило зрештою замінити “наочність” на “опис”. У науково-методичній та філософській літературі ці терміни вживають як синоніми, що видається виправданим поки мова йде про методи наукових досліджень у фізиці. Процедура опису дійсно дозволяє представляти і здійснювати операції математичного моделювання над досить широким класом об'єктів (системою об'єктів): квантово-механічний опис стану системи, аналітичний опис механічного руху матеріальної точки, табличний опис результатів експерименту тощо. Проте, у пізнавальному процесі вказана заміна лише руйнує можливість застосування наочності як дидактичного інструментарію формування наукових понять. Відновити наочність можливо лише за умови зміни логіки побудови квантової теорії, що не входить до завдань методики фізики, а тому виконати таке завдання не вдасться, якщо спиратися лише на методологію методичної науки як галузі педагогіки. Лише в

тих питаннях де дослідження науковців спирались на методологію класичної фізики, можливе використання принципу наочності, наприклад, при вивченні відомостей про модель атома Бора.

Для розв'язання проблеми наочності слід відмовитись від традиційних підходів з формування наукових понять і натомість створити нову модель, що базуватиметься на іншій схемі формування понять. Подальші дослідження показали, що шукати такі схеми необхідно в межах концепцій, що репрезентовані новими філософськими концепціями емпіризму, критичного раціоналізму та неопозитивізму.

Висновки до розділу I

1. Вивчення відомостей із квантової фізики в загальноосвітній школі зазвичай пов'язували з підвищенням наукового рівня його викладання. Вперше перегляд змісту курсу фізики саме в такому контексті був здійснений у післявоєнний період (1945 — 1948 р.р.). Так, вивчення відомостей про кванти, зокрема квантові властивості світла, були запропоновані проектом нових програм у кінці 40-х років і відтоді зміст шкільного курсу фізики періодично оновлювався з метою приведення його до сучасних досягнень фізичної науки.

2. Реформою 1969 — 1972 р.р. змісту шкільного курсу фізики передбачалося формування системи фізичних понять, що мали б віддзеркалювати в адекватній для учнів формі тогочасний розвиток фізичної науки. З цією метою пропонувалося: а) привести відповідно до наукових уявлень зміст вже відомих понять, що вивчалися раніше (маса, сила, температура тощо); б) увести в шкільний курс фізики нові фізичні поняття та теорії, зокрема теорію відносності (елементи СТВ), квантову теорію (елементи квантової оптики та квантової механіки). Вказані теорії та їх поняттєва база вивчалась й раніше, проте фрагментарно, несистемно та досить обмежено.

У результаті проведених реформ, відомості про світлові кванти, фотоефект, тиск світла, ефект Комптона, фізику атома і атомне ядро, елементарні частинки вперше виокремлено в окрему частину “Квантова фізика”, що підкреслювало важливість і необхідність вивчення питань квантового підходу у шкільному курсі фізики. Відповідні відомості були викладені у двох розділах: “Світлові кванти. Дії світла” та “Атом і атомне ядро”. Загальна кількість годин, що відводилась на квантову фізику, була збільшена у порівнянні з попередньою програмою 1967 року [214].

3. Логіка вивчення відомостей теорії будови речовини в основній школі та квантової теорії у старшій школі відповідала філософській концепції емпіризму. Виклад навчального матеріалу розпочинався і завершувався експериментом: від експериментальних фактів до побудови абстрактної фізичної моделі, потім — до отримання теоретичних наслідків і, нарешті, знову до експериментальних фактів, що підтверджують справедливність цих наслідків. Таким чином цикл замикався: *вихідні експериментальні факти — теоретична модель — наслідки — експериментальна перевірка наслідків*. Циклічна схема відбивала виключно індуктивний триб методичної думки того часу і на десятиріччя визначила науково-методичні розвідки з пошуку нових

ідей щодо викладання фізики в основній та старшій школах.

4. Авторами програми 1985 року [211] був збережений увесь науково-методичний доробок, напрацьований протягом реформи 1967 — 1972 р.р. Так, у пояснювальній записці відзначалося: «У програмах знайшли відбиття основні напрями розвитку науково-технічного прогресу, сучасні досягнення науки, техніки, культури; посилена практична спрямованість. Відповідно до змісту уточнені вимоги до знань, умінь і навичок учнів, нормативи їх оцінювання, надано рекомендації з методики викладання предмету» [там само, с. 21].

5. На початку 90-х років ХХ століття в освітніх системах високорозвинених демократичних країн почали переважати тенденції зі зміщення акцентів у цілях навчання з формування знань на розвиток мислення та вмінь орієнтуватися у природничо-науковій інформації [140, 145, 271 та інші]. У цей же час була прийнята програма шкільного курсу фізики [208], що декларативно віддзеркалювала вказані тенденції та проголошувала ідеї гуманізації, демократизації, диференціації навчального процесу, перехід від знанєвої парадигми до діяльнісної, проте за змістом не відрізнялась від програм радянської школи 1985 року. Таке поєднання дозволило зберегти увесь напрацьований науково-методичний потенціал радянської школи і водночас змінити орієнтацію української школи на світовий досвід і тенденції світових освітніх систем.

6. Сучасні тенденції розвитку методичної системи навчання квантової фізики в старшій школі обумовлені наступними чинниками: переорієнтацією на компетентнісний підхід; інтеграцією природничих наук і водночас посиленням ідей еволюціонізму та системного підходу в навчанні; інноваційними технологіями, що мають вплив на вивчення фізики.

7. В останні десятиріччя посилюється розвиток компетентнісно орієнтованих технологій навчання: формування критичного мислення; інтерактивних технологій кооперативного навчання; мобільного навчання; STEM-, STEAM-, STREAM-навчання, хмарних технологій, навчання із використанням QR-кодів тощо. В межах нашого дослідження теоретико-методичне вдосконалення навчання квантової фізики в старшій школі полягає не у зміні або перегляді її змісту, як це мало місце в більшості досліджень [25, 26, 238], а в створенні нової методичної системи, що враховуватиме компетентнісно орієнтовані технології навчання.

8. У теорії та методиці навчання фізики найбільш розробленою

була така послідовність етапів формування понять, що скеровувала розгортання навчального матеріалу та процес формування відповідних понять у напрямку від чуттєвого сприйняття до узагальнення на рівні нових наукових понять. А.В. Усовою в рамках даного підходу було запропоновано 14 етапів формування фізичних понять [308]. Проте вказаний підхід має ряд недоліків. По-перше, філософська основа даного підходу — емпіричне та індуктивне навчання — накладає обмеження на розвиток фізичного мислення, обмежуючись лише емпіричним рівнем мислення школярів. Цьому ж сприяє циклічна схема, про яку вже велась мова вище: *вихідні експериментальні факти — теоретична модель — наслідки — експериментальна перевірка наслідків*. По-друге, вказана філософська концепція емпіризму обмежує формування фізичних понять через узагальнення чуттєвого досвіду. Якщо певна загальна властивість існує у класу предметів, то про неї неможливо дізнатися в результаті емпіричного узагальнення, оскільки може існувати фізичне явище, пояснення механізму протікання якого виходить з рамки фізичної теорії, що вивчається. Методично це можна виправити, якщо використати проблемне навчання для встановлення нових зв'язків та відношень даного поняття з новими класами понять. Цього достатньо, якщо новий клас понять не належить до квантової оптики, квантової механіки, фізики атомного ядра, інакше виникають методичні та методологічні проблеми з вивчення вказаних теорій. По-третє, індуктивно-емпіричний підхід при вивченні квантової фізики зазнає обмежень у зв'язку з ненаочністю квантової теорії.

9. Характерною особливістю сучасних фізичних теорій є їх ненаочність. На початку XX століття у фізиці виникла так звана "криза наочності", яку пов'язують із швидким розвитком квантової механіки, теорії відносності (СТВ і ЗТВ) та фізики високих енергій. На підставі проведеного аналізу, можемо стверджувати, що розв'язання проблеми наочності в методиці навчання фізики можливе за переорієнтації від традиційних підходів із формування наукових понять на нову модель, що базуватиметься на новій формально-логічній схемі формування понять, яка заснована на філософських концепціях емпіризму, критичного раціоналізму та неопозитивізму.

Розділ II. Компетентнісно орієнтовані технології навчання квантової фізики як складова методичної системи

2.1. Поняття компетентнісно орієнтованої технології навчання

Зазвичай технологічний підхід описують, спираючись на поняття: “технологія навчання”, “технологія освіти”, “педагогічна технологія”.

У науковий обіг вказані терміни увійшли з середини 50-х років, а їх перші використання у шкільній практиці відносять до 30-х років ХХ ст., коли у школах США перед освітянами постало завдання “побудувати навчання та виховання”.

У вітчизняній шкільній практиці термін “технологія” почали вживати з кінця 40-х років у зв'язку з використанням технічних досягнень — магнітофонів, програвачів, проєкторів, телевізорів тощо у навчальному процесі. Тогочасне застосування технічних пристроїв під час проведення уроків дозволяло говорити швидше про технології в навчанні, ніж про освітні технології.

З середини 50-х років у школах США набуває широкого застосування програмоване навчання, засноване на ідеях біхевіоризму (Б. Скіннер (B. Skinner)), що надає новий імпульс технологізації навчального процесу. Це стає приводом для введення у науковий обіг терміну “технологія навчання”, під яким розуміють використання комплексу сучасних, для відповідного проміжку часу, технічних засобів навчання (ТЗН). Оскільки програмоване навчання передбачає певну послідовність дій учня та учителя, що має призвести до цілком певних результатів, технологію навчання починають розуміти дещо ширше, ніж упровадження інженерних здобутків, а саме, як чітку постановку мети та її поетапну реалізацію (Н. Тализіна, Т. Ільїна, Ю. Машбиць та інші). Подальший розвиток ідей програмованого навчання став приводом для розробки аудіовізуальних засобів, спеціально призначених для використання на уроках при вивченні нового навчального матеріалу. Виникла потреба у розробці методів та певних методичних стратегій їх ефективного застосування. Отже, необхідно було детально описати застосування ТЗН із урахуванням дидактичних особливостей процесу так, щоб отримати запланований результат. У зв'язку з цим, виник термін “технологія освіти”— науковий опис засобів і методів навчального процесу з наперед

запланованими результатами.

У 70–80 роки технічні засоби навчання поступово удосконалюються, а з розвитком інформатики починається широке застосування комп'ютерних технологій, які внесли зміни до організації навчального процесу, змінили швидкість перебігу педагогічних процесів, наситивши їх великим обсягом інформації. Тепер стає очевидним, що термін “технологія”, запозичений з виробничої сфери, набуває нового змісту і покликаний підкреслити чітку методичну організацію навчального процесу, оптимально орієнтовану на певні дидактичні цілі навчання, які теж помітно змінилися і концептуально почали відходити від біхевіористичних ідей у контексті педагогічної психології та від знаннєвої парадигми з точки зору методики формування знань.

До кінця 80-х і початку 90-х років питання технології освіти розробляються на основі системного підходу — навчальний процес всебічно вивчається та проектується із застосуванням принципів оптимізації з огляду на новітні досягнення науки й техніки. Поступово поняття “технологія освіти” еволюціонує до поняття “педагогічна технологія”, що передбачає спеціальну підготовку педагогів, які повинні не лише досконало володіти комп'ютерними технологіями, спеціальними програмами, ППЗ тощо, а й специфічними комунікаційними технологіями на кшталт інтерактивних технологій кооперативного навчання, технологіями проблемного навчання, розвитку критичного мислення та ін. Вказана еволюція понять була пов'язана також із заміною знаннєвої парадигми на нові концептуальні положення, що враховували відмову від накопичення суми знань, бездумного нав'язування учням загальноприйнятих способів діяльності і, натомість, — розвиток особистісного потенціалу учня. Відтепер функції педагогічної технології, як дидактичної категорії, розширено від простого обслуговування навчання до планування та організації цього процесу, розробки методів і навчальних засобів. Таким чином, наприкінці 90-х років стало зрозуміло, що вибір освітньої технології вимагає обрання відповідних пріоритетів у навчанні.

На сьогодні існує велика кількість технологій, що дозволяють конструювати педагогічний процес відповідно до обраної методичної системи чи моделі з врахуванням різноманітних факторів — від регіональних умов, де розташований навчальний заклад, до системи дидактичних цілей. Із усієї множини технологій нас цікавлять саме ті,

що спрямовані на формування ключових та предметних компетентностей.

Проведений нами аналіз відомих на сьогодні технологій показав, що їх автори, зазвичай, не ставили за мету формування в учнів тих чи інших компетентностей. У різні часи завжди існували певні орієнтири та тенденції, на які націлені більшість технологій. Так, спочатку загальноновизнаною метою була необхідність з формування знань та умінь і навичок їх застосування. Згодом, важливим стало не лише формування знань, а розвиток особистості учня, поступ його творчих здібностей.

Формування знаневої бази процес нескінченний, оскільки досягти ідеального знання практично неможливо. На заміну знаневій парадигмі прийшла більш прагматична і конкретна мета — формування компетентностей, тобто знань, умінь, досвіду, що об'єднані ціннісним ставленням до них учня. Важливо не лише сформувати певну суму знань, а навчити учня таким діям зі самостійного отримання знань, їх критичного осмислення та застосування, що зрештою призведе його до успішного вирішення завдань, які по всяк час будуть поставати перед ним на виробництві та у повсякденному житті. Отже, важлива не наявність знань, а вміння успішно та цілеспрямовано діяти, знати про різні способи діяльності (мати відповідний досвід), або уміти творчо створювати нові способи діяльності з опорою на відповідні знання — закони, принципи, правила та ін. Інтегровані таким чином знання, вміння і навички, досвід та ціннісне ставлення характеризують компетентностями — ключовими, предметними та метапредметними. Формування компетентностей вимагає перегляду, а подекуди й відмови від традиційного підходу, коли учням спочатку пропонують засвоїти певний масив знань, а вже потім навчитись застосовувати їх на практиці. Шкільна практика свідчить, що такий спосіб із формування знань є найбільш поширеним і водночас найменш ефективним. Відповідь на питання, як учителю, з позицій методичної науки, діяти інакше, щоб сформувати знання, відповідні вміння з їх застосування, здатність приймати правильні рішення, логічно мислити та вирішувати нестандартні творчі завдання тощо, дає технологічний підхід. Проте єдину вірну відповідь тут годі чекати. Кожна технологія має особливий набір інструментарію, спирається на оригінальну концептуальну основу, сповідує певні принципи та положення і, зрештою, дає власний алгоритм дій для учителя або колективу

учителів навчального закладу. Таким чином, немає потреби у створенні або спеціальній розробці компетентісно-орієнтованих технологій. Достатньо проаналізувати педагогічні результати, до яких призведе застосування тієї чи іншої технології та відібрати ті з них, що формують певні компетентності.

Отже, створення технології формування предметної компетентності з квантової фізики у старшій школі передбачала наступні кроки. По-перше, аналіз змісту компетентісно-орієнтованих технологій навчання та відбір придатних для застосування у курсі фізики старшої школи. По-друге, об'єднання відібраних технологій та їх інтеграція в одну систему з метою вироблення єдиної концептуальної бази, що відповідає методичній системі навчання квантової фізики у старшій школі.

2.2. Аналіз методичних особливостей компетентісно орієнтованих технологій навчання квантової фізики

2.2.1. Технологія розвитку критичного мислення

В Україні ідеї розвитку критичного мислення вивчаються більше десяти років. Проте, ще в 50-х роках минулого століття психологічні та психолого-педагогічні аспекти мислення досліджували наукові школи Л.С. Виготського, О.М. Леонтьєва, С.Л. Рубінштейна. Було виявлено, що процес мислення відбувається як процес розв'язування навчальної проблеми. Згодом у працях Д.Н. Богоявленського, Н.А. Менчинської, В.В. Давидова, І.Я. Лернера та їх послідовників було показано, що засвоєння нових знань є процесом розв'язування нових задач, які називали “проблемними”. Особливості й закономірності їх розв'язування покладено в основу методів навчання, які через деякий час було об'єднано в теорію “розвивального навчання”. Як наслідок, у вітчизняній педагогіці та дидактиці набули поширення ідеї проблемного навчання, згідно з якими основним рушієм розумової діяльності (“рухом думки”) є наявність і постановка проблеми. Технологія критичного мислення також передбачає окреслення перед учнями проблеми, що використовується як засіб їхньої мотивації. Здійснюється це шляхом формулювання вчителем таких запитань, для відповіді на які в них недостатньо знань. Тривалі дослідження в царині психології свідчать, що правильно сформульоване запитання є запорукою успіху в створенні проблемної ситуації, спонуканні учнів до розумових дій і,

разом з цим, своєрідною підказкою, допомогою з боку вчителя [148]. Таким чином, основні ідеї розглядуваної технології деякою мірою перегукуються з ідеями розвивального і проблемного навчання. Так, Д.Б. Ельконін і В.В. Давидов розробили в рамках теорії розвивального навчання концепцію, в основу якої покладено ідею спеціально організованого навчання, метою якого є формування здатності учнів до самовдосконалення, саморозвитку, самопізнання, тобто набуття “вміння навчатись” [72, 73].

В освіті США та Канади технології розвитку критичного мислення розвиваються щонайменше п'ятдесят років і ґрунтуються на ідеях відомих американських психологів В. Джемса та Дж. Дьюї [80] (концепція рефлексивного мислення). За цей чималий період створено величезну кількість різних моделей та концепцій з формування критичного мислення. Зазвичай серед фахівців із цієї проблеми обговорюються два основних підходи навчання цьому творчому стилю мислення: критичне мислення як академічна дисципліна «Критичне мислення» і другий підхід — «критичне мислення через інші дисципліни» [305]. Перший підхід найчастіше впроваджується у вищій школі. Студентів навчають алгоритмам критичного мислення на основі навчального матеріалу, що близький за змістом до напряму підготовки студентів, проте не стосується конкретного предмету. На заняттях з дисципліни «Критичне мислення» студенти опановують навички, що не відносяться до конкретних дисциплін їхньої спеціалізації — майстерність ставити запитання, робота з різними джерелами інформації, уміння аргументовано висловлюватись тощо. Другий підхід не потребує виокремлення самостійної дисципліни і передбачає формування уміння критично мислити під час вивчення певної дисципліни (фізика, математика, біологія, хімія тощо). Слід підкреслити, що учнів (студентів) навчають не лише критично мислити, а й здобувати знання за допомогою критичного мислення. Як відзначає О.В. Тягло, викладання критичного мислення через інші дисципліни є більш прийнятним для середньої школи, оскільки в учнів формують навички вести дискусію без наукового обґрунтування критичного мислення. Проте, спроби впровадити критичне мислення як навчальну дисципліну в шкільну практику також не позбавлено сенсу. Свідченням цього є курс за вибором «Основи критичного мислення» та підручник, який підготовлено українськими вченими в рамках міжнародного проекту «Навчання старшокласників критичного

мислення: елективний курс в школах Азербайджану, Киргизстану, України» [194].

Є.Н. Волков вказує на занадто помітне спрощення ідеї критичного мислення при викладанні у школі [41]. Для прикладу, він наводить концепцію, що отримала широку популярність в США, Канаді, Великій Британії, Австралії, Україні, Росії та ін. (всього у 29 країнах) – «Розвиток критичного мислення через читання та письмо» (РКМЧЧП) [300]. Не погоджуючись із категоричністю даної позиції (Є.Н. Волков називає шкільні концепції критичного мислення «бідними», а «університетський» тип критичного мислення – «багатим» [41, с. 2]), відзначимо наявність у деяких методичних розробках дещо спрощеного підходу до формування критичного мислення, коли запозичуються лише зовнішні атрибути та ознаки без розуміння глибинних зв'язків критичного мислення із філософськими ідеями критичного раціоналізму [85, 90, 91, 142, 161, 194 та інші] (хоч трапляються й винятки, наприклад, методичні рекомендації авторів [44] та ін., що відрізняються від згаданих).

Серед дослідників критичного мислення немає одностайної думки щодо означення цього феномену. Проте, існують спільні риси, які можна виявити, порівнявши точки зору різних фахівців на досліджувану проблему.

Метью Ліпман (Matthew Lipman) визначав критичне мислення як «вміле відповідальне мислення, що дозволяє людині формулювати надійні вірогідні судження, оскільки воно: а) засновується критеріях, б) є таким, що самокоректується, в) пливе до контексту» [362, с.19–20]. Він пропонував змінити навчальний процес таким чином, щоб головною метою його було не засвоєння як найбільшої кількості інформації, а осягнення внутрішніх зв'язків досліджуваних об'єктів [134]. Такий підхід лежить в основі рефлексивної парадигми критичної практики. Головна особливість рефлексивної мисленевої діяльності полягає в усвідомленні обмеженості пізнання через його двозначність та невизначеність з точки зору індуктивної процедури, коли збирання емпіричних фактів не здатне відкрити істинних закономірностей та зв'язків між змінними, оскільки усі вони невідомі.

Д. Клустер, визначаючи критичне мислення, виокремлює п'ять його ознак: 1) самостійність мислення; 2) інформація є висхідною частиною критичного мислення, проте не являється його результатом; 3) критичне мислення розпочинається з постановки проблеми у вигляді формулювання запитань; 4) критичне мислення здійснюється

шляхом пошуку переконливої аргументації; 5) критичне мислення — соціальне мислення (покращення ідей та суджень під час обміну із іншими учасниками дискусії) [111]. Фахівці з критичного мислення під аргументацією розуміють наявність чотирьох елементів:

2. Твердження (теза, головна ідея).
3. Доведення основної ідеї.
4. Докази (конкретні дані, цифри, уривки з тексту, особистий досвід).
5. Підстава (точка відліку, що дає обґрунтування всієї аргументації) [44, с. 9].

Д. Мошман дійшов висновку, що навчання критичному мисленню має перш за все сформувані в учнів мета-знання про мислення: знання про знання та контроль власних пізнавальних процесів [367]. Схожі думки висловлюють й інші дослідники (А. Кроуфорд, В. Саул, С. Метьюз, Д. Макинстер [300], П. Пінтріч [372], Д. Халперн [314] та інші).

Серед дослідників досить часто критичне мислення визначається не лише через когнітивні компоненти, а й через відповідні афективні складові — емоційні, ціннісні та морально-етичні. Так, один з найвідоміших авторитетів та піонерів у галузі критичного мислення Річард Пауль (Richard Paul) визначає критичне мислення як мислення, що має когнітивні та афективні компоненти: «Критичне мислення є дисциплінованим, самокерованим, таким, що демонструє довершеність відповідно до особливих способів або сфери мислення» [371, с. 51]. Критерій дисциплінованості (натренованості) мислення належить до ціннісної складової. Так, саме через підпорядкованість критичного мислення суб'єкту мисленевої діяльності вчений розділяє його на дві форми — слабку та сильну. Якщо критичне мислення підпорядковано інтересам окремого індивідууму або групи та виключає інших людей або групи, то це софістичне критичне мислення або мислення у слабкому розумінні. Якщо ж критичне мислення «дисципліноване» щодо прийняття до уваги інтересів та цінностей різних людей та груп, то це критичне мислення у сильному розумінні («справедливе критичне мислення») [371].

У тестах на критичне мислення серед критеріїв його оцінювання досить часто зустрічається критерій «ціннісний умовивід», що передбачає не лише правильне логічне узагальнення, а також його відповідність ціннісним орієнтирам. На це, зокрема, вказує відомий

російський перекладач психометричних та освітніх тестів із перевірки розвитку критичного мислення Є.Н. Волков [41, с. 12].

Спираючись на результати досліджень з проблем розвитку критичного мислення [41, 99, 111, 300, 354, 370, 371, 378, 382, 383, 384 та інші], нами було відібрано для наступного аналізу та включення до методичної системи чотири моделі:

6. Розвиток критичного мислення через читання та письмо (РКМЧЧП).
7. Модель критичного мислення ARA Delphi.
8. Модель Пола-Елдер (Paul-Elder).
9. Модель Девіда Клустера.

Відповідно до РКМЧЧП виділяють шість ключових елементів критичного мислення [300, с. 8]:

- Уміння мислити—володіння ефективною методологією опрацювання інформації.
- Відповідальність—усвідомлення обов'язку надання слухачам (читачам) аргументів та прикладів, які відповідають прийнятим стандартам.
- Формування самостійних суджень—спрямованість на творче мислення. Здатність порівнювати різні судження і визначати альтернативи на основі різних чинників, що обумовлюють істинність та вірогідність інформації.
- Опора на критерії. Критерії—це положення, які необхідно брати до уваги під час аналізу або оцінки ідей, які піддаються раціональній критиці.
- Самокорекція—критичне мислення використовується як метод, що дозволяє вдосконалюватися, виправляти власні судження, змінювати думку.
- Врахування контексту. Людина, яка критично мислить, розуміє, що критерії можуть змінюватись або коригуватись залежно від кожного конкретного випадку.

Модель ARA Delphi розроблена Американською філософською асоціацією та сформульована як експертний консенсус за допомогою Делфі-методу.

Згідно ARA Delphi, критичне мислення—це цілеспрямована, саморегульована система суджень, що використовується для інтерпретації, аналізу, оцінки та формулювання висновків, а також для пояснення доказових, концептуальних, методологічних, критеріальних або контекстозалежних міркувань, на яких ця система

суджень заснована [121, 122].

Критичне мислення в рамках моделі Пола-Елдер (Paul-Elder) розробляється організацією The Foundation for Critical Thinking. Згідно з цією моделлю, критичне мислення—це такий метод мислення, при якому людина, яка критично мислить, покращує якість свого мислення, уміло аналізуючи та оцінюючи здатна його реструктурувати. Критичне мислення є самостійно спрямованим, самоконтролюючим, самокоректуючим мисленням. Воно передбачає відповідність чітким стандартам. Передбачає здібності до ефективної комунікації та вирішення проблем, а також зусилля щодо подолання вроджених нахилів до егоцентризму та соціоцентризму [382].

Підсумовуючи, можна відзначити наступне. Конструкт «критичне мислення» містить усі складові, за якими його можна віднести до поняття «технологія навчання». Як технологія, критичне мислення в своїй структурі містить: цілі, які об'єднують знання, практичні навички, досвід упровадження знань навколо ціннісних орієнтирів. Аналіз цих компонентів показав, що їх формування загалом здатне не лише підвищити ефективність навчального процесу, а вирішити суто методичні проблеми, які притаманні викладанню відомостей із квантової фізики. Однією з таких важливих проблем є проблема наочності.

Як було показано вище (розділ I, п.1.3.), у методиці викладання квантової фізики існує проблема порушення принципу наочності. В результаті проведених досліджень нами було доведено, що ця проблема не може бути вирішена в межах традиційних методичних підходів, які у згорнутому вигляді можна представити як сукупність методів навчання, що репрезентують індуктивно-споглядальний підхід, коли розгортання навчального матеріалу відбувається у напрямку від чуттєвого сприйняття до узагальнення на рівні понять (А.В. Усова та інші). Для того, аби відійти від вказаних підходів з формування понять, розглянемо іншу концепцію, що віддзеркалює гіпотетико-дедуктивний підхід у навчанні. У зв'язку з цим ми звернулись до ідей критичного мислення. Коротко розглянемо критичний раціоналізм та еволюційну епістемологію як філософські витоки концепції критичного мислення.

Концепт *критичного мислення* базується на філософії критичного раціоналізму Карла Поппера (Karl Raimund Popper, 1902—1994). К.Поппер розглядав свою теорію як синтез класичного раціоналізму та емпірицизму, і водночас як альтернативу цих філософських

концепцій. Проаналізуємо раціоналізм та емпіризм (позитивізм) у порівнянні з критичним раціоналізмом із огляду їх впливу на технології навчання.

Протягом XVII—XIX ст. остаточно сформувалися два класичні напрямки в теорії пізнання: раціоналізм та емпіризм. Загальновідомо, що класичний раціоналізм (Декарт, Лейбніц, Спіноза) пов'язується із дедуктивним методом пізнання, коли знання про навколишній світ можна здобути, спираючись лише на «чистий розум», на властиві йому безсумнівні «вроджені» ідеї та строго логічні міркування, які не спираються на досвід. Відмова від емпіричного матеріалу обґрунтовувалась тим, що безсумнівні ідеї чистого розуму є найзагальнішими істинами, з яких шляхом дедукції можна вивести істини меншого рівня загальності. Натомість класичний емпіризм проголошував, що «в свідомості немає нічого, чого раніше не було б дано у відчутті». Емпіричне пізнання відбувається шляхом індуктивного накопичення фактів спостережень та вимірювань, які потім узагальнюються. Згодом обидві теорії зіштовхнулися із нездоланими проблемами. Критики раціоналізму справедливо вказували на те, що керуючись логічними умовиводами, можна дізнатися про відношення лише між теоретичними конструктами, що не пов'язані із реальністю, яка існує незалежно від уяви людського розуму. Тому про навколишній світ можна дізнатися, спираючись саме на досвід, експериментальні дослідження. Зрештою, раціоналізм залишився в історії філософії як протилежність ірраціональному. Інакше кажучи, раціоналізм в сучасному розумінні—переконання чи віра в розум, як інструмент, на який слід спиратися при дослідженні природи. У зв'язку з цим, пізнання через вивчення емпіричних законів видається більш доцільним. Теорія емпіризму набула найбільшої популярності і в пізній версії (XIX—XX ст.) — позитивізмі — вважалася такою, що відбиває науковий триб природничо-наукового пізнання.

У дидактичному аспекті концепція емпіризму знайшла свій прояв у логіко-психологічних особливостях формування фізичних понять, які спрямовують мислення від чуттєво-конкретного до абстрактно-загального. На цій стадії відбувається відбір і класифікація наукових фактів із наступним утворенням загальних уявлень про певне фізичне явище або клас явищ (процесів) на підставі чуттєвого матеріалу. Цей процес може відбуватися у такій послідовності. Відповідно до логіки емпіричного пізнання дійсності, формування окремих наукових

фактів розпочинають із постановки та проведення спостереження або експерименту. Визначають мету дослід, формулюють проблему згідно з поставленою метою та рівня вирішуваної проблеми, обирають адекватний інструментарій. Після отримання емпіричних даних, їх очищають від випадкових та суб'єктивних даних, несуттєвих, другорядних факторів тощо. Тут на повну потужність проявляється раціоналізм у формі логіко-математичної обробки і як результат — отримання емпіричних залежностей. У результаті може утворитися емпіричне поняття як специфічна логічна форма даного рівня пізнання [140]. Воно характеризується більш високим рівнем абстракції, коли поняття не прив'язується в уяві учня до конкретного предмету чи явища або процесу. Завершення стадії емпіричного пізнання завершується вербальною дефініцією фізичного поняття. Наступний етап — теоретичне узагальнення понятійної форми мислення, причому не за формально-логічними критеріями узагальнення окремих, одиничних властивостей і якостей, а за змістовним, генетичним підґрунтям, що перетворює знання на абстрактно-теоретичне. Таким чином, загальна схема пізнавального процесу вкладається у схему: *Дослід — Індуктивне узагальнення — Теоретичне узагальнення — Теорія — Верифікація теорії*.

Значення теоретичного пізнання полягає в тому, що теоретичне осмислення дає значно більше, ніж сукупність емпіричних фактів, які часто розрізнені та подекуди здаються між собою не пов'язаними. Створення теорії можна уявити як побудову цілісної картини явищ або фізичних процесів. Це відбувається як генералізація системи наукових фактів, що інтерпретують у рамках теорії не лише на основі логічних умовиводів, а спираючись на дані дослідів, які творчо, по-новому осмислюються та перегруповуються у струнку і завершену систему наукових фактів, емпіричних понять, і законів. Цей базис теорії набуває важливого значення в сенсі взаємовідношення теорії та фактів, оскільки теорія “мусить” передбачати нові факти. Звідси впливає ідея верифікації, яка є характерною для філософії неопозитивізму. Верифікацію зазвичай інтерпретують дуально (в сильному і слабкому розумінні): теорія логічно впливає із наукових фактів, які стають основою побудови теоретичних узагальнень, входячи до її емпіричного базису; теорія має підтверджуватися досвідом, фактами, які є результатом застосування теорії для передбачення невідомих фактів або пояснення нових. У циклі наукового пізнання верифікація надалі дозволяє реалізовувати

наступні після теоретичного узагальнення фази та функціональні форми знання — науково-технічне застосування (техніко-технологічне знання) та науково-практичне застосування (нові знання та алгоритм діяльності). З іншого боку знання імпліцитно дозволяє своє практичне застосування.

Згідно з ідеями емпіризму (позитивізму) у методиці навчання фізики превалювала рекомендація циклічності викладу навчального матеріалу, коли процес формування нових знань розпочинався і завершувався експериментом: експериментальні факти — модель — теоретичне узагальнення — експериментальне підтвердження теоретичних висновків (В.Г. Разумовський). Така структурно-логічна схема викладу навчального матеріалу передбачала засвоєння учнями елементів фізичних теорій. Вивчення основ теорій в основній та старшій школах, введених у зміст шкільного курсу фізики під час відповідних реформ 1969—1972 р.р., крім вказаних вище у нашому дослідженні цілей (розділ II, п.2.2), мало на меті методологічно та методично закріпити підхід, при якому формування нових наукових понять розпочинають із чуттєвого сприйняття учнями емпіричних фактів з наступним їх індуктивно-теоретичним узагальненням та поверненням до експерименту для підтвердження нової для учнів теорії. У контексті аналітичної філософії така логіка викладу навчальних відомостей з будови речовини відповідає загальній теорії пізнання, сформованій у традиціях позитивізму і сповна себе виправдала в основній школі. Це пов'язано з тим, що вивчення теорії будови речовини, яка згодом у старшій школі розгортається у МКТ, відповідає класичній фізиці. Вивчення квантової теорії (елементів) зіштовхується із труднощами, що викликані не лише із неможливістю відтворити більшість дослідів, а й із більш фундаментальною проблемою — майже повною відсутністю наочності. Результатом є формування знання, яке як поліструктурний феномен набуває стану ідеальної категорії, до якої можна лише нескінченно наближуватись у процесі мисленевої, а відтак й пізнавальної діяльності. Раніше (п.1.3.) нами було показано, що вказану проблему розв'язати в рамках традиційних методичних підходів неможливо, оскільки вони спираються на позитивістську концепцію пізнання. Водночас, сучасні дослідження, пов'язані із теорією поля, вивченням елементарних частинок в рамках стандартної моделі та у фізиці високих енергій, змусили вчених поступово застосувати новий методологічний інструментарій, що дозволяє сподіватися на подальший розвиток

фізики, а в дидактичному аспекті при залученні його в адекватній формі до навчального процесу, вирішити вказану вище проблему наочності. Для того, аби показати як це можливо, розглянемо альтернативну до позитивістських та неопозитивістських підходів концепцію *критичного раціоналізму*.

У наведеній вище циклічній схемі експеримент методологічно має на меті спочатку зібрати в єдиний перелік усі експериментальні факти, а на завершальній стадії показати верифікованість теорії і як наслідок — її підтвердження. В учнів складається враження про другорядність експериментального методу наукового дослідження, який ніби слідує за теоретичними дослідженнями і слугує інструментом для емпіричного накопичення розрізнених фактів, а на завершальній стадії лише для підтвердження справедливості теорії. Принагідно відзначимо, що саме за такої логіки в сенсі верифікації, застосовувався фізичний навчальний експеримент у технології проблемного навчання.

На хибність уявлень про другорядність експериментального методу дослідження вказував ще Річард Фейнман під час Мессенджерівських читань у Корнельському університеті: «У вас може скластись не зовсім правильне уявлення про науку. Вам може здатися, ніби ми увесь час про щось здогадуємося, а потім перевіряємо експериментально, тому експерименту відводиться підпорядкована роль». Далі він відзначав, що експериментальний метод почасти випереджає теоретичні передбачення, наприклад, у фізиці високих енергій: «Експериментатори намагаються ставити досліди з високими енергіями, та час від часу вони стикаються з труднощами — те, що ми вважали правильним, виявляється невірним. Таким чином, експерименти можуть призвести до несподіваних результатів, а це змушує нас висувати нові здогадки» [231, с.172]. Отже, експеримент слугує для критичного перегляду вже усталених теорій, які здавалося б підтверджені експериментом (успішно пройшли верифікацію). Р. Фейнман наголошує, що довести справедливості будь-якої теорії в принципі неможливо. Експериментально теорію можливо лише спростувати, проте довести її істинності неможливо. Саме цей факт, відомий сучасній фізиці, був вперше сформульований Т. Гобсом (Thomas Hobbes 1588—1679) та глибше досліджений шотландським філософом-емпіриком Девідом Юмом (David Hume, 1711—1776). Індуктивний метод відомий ще з часів Сократа та Аристотеля, а його засновниками прийнято вважати

Леонардо да Вінчі та Бекона. Індукціонізм здавна піддавався критиці стародавніми філософами (Секст Емпірик, Аль-Газалі). Девід Юм сформулював проблему індукції, вказавши, що не існує жодних обґрунтованих підстав для твердження про те, що індуктивні умовиводи ведуть до істинних теорій. За Юмом, якщо серед множини певного класу явищ спостерігаються певні закономірності, то не існує раціональних підстав вважати, що спостережувана закономірність або характеристика буде притаманна наступному явищу цього класу [136]. У контексті розв'язання проблеми індукції, Б. Рассел відзначав, що індуктивне мислення складає важливу частину наукових методів пізнання, а принцип індукції виступає інваріантним логічним принципом, який не слід піддавати сумніву. І. Кант пропонував наступний розв'язок проблеми індукції. Індуктивні судження про навколишній світ відносяться до категорії істинних *a priori*, оскільки витікають із емпіричних даних. За Кантом індуктивні умовиводи емпірично тотожні свідомості людини (ідея трансцендентальної єдності апперцепції). Саме тому судження про навколишній світ з опорою на емпіричний досвід завжди істинні. Таким чином, Кант акцентує на людському розумі як на єдиному істинному засобі пізнання, повертаючись зрештою до ідей класичного раціоналізму.

Отже, тривалий час проблема індукції залишалась нерозв'язаною, що давало привід сумніватися в науковому методі пізнання, оскільки останній включав у собі індукціонізм у вигляді інструментарію розробки емпіричних законів. Підтвердженням цих сумнівів були, зокрема результати, отримані у фізиці елементарних частинок протягом ХХ століття. Певний час фізики вважали протони, нейтрони та електрони елементарними частинками у сенсі «атомів» — неподільних частинок. Проте, у 1968 р. на Стенфордському лінійному прискорювачі було продемонстровано, що нуклони складаються із кварків. Експериментатори встановили, що ці частинки діляться на два типи — *u*-кварки та *d*-кварки. Наприклад, протон складається із двох *u*-кварків та одного *d*-кварка. Отже, експериментально було встановлено, що уся відома матерія, що нас оточує, складається із комбінацій електронів та двох типів кварків. Проте, з'ясувалося, що існують ще інші типи кварків, які згодом відкрили після використання прискорювачів із більшою енергією — ще чотири кварка *c*, *s*, *b* і *t*. У 1930-х р.р. у космічних променях було виявлено мюон (у 200 разів важчий за електрон). Однак, на момент відкриття мюона у вчених не існувало підстав вважати, що ця частинка «потрібна» для опису

сучасної картини світу подібного до того, як були «потрібними» додаткові чотири типи кварків. У зв'язку з цим Браян Гірн у своїй відомій книзі «Елегантний Всесвіт» (The Character of Physical Law) згадує слова нобелівського лауреата, фахівця з фізики елементарних частинок Ісидора Ісаака Рабі, який зустрів звістку про відкриття мюона словами: «Ну, і хто це замовляв?» [17, с. 21]. Завжди існувала висока ймовірність того, що після створення завершеної теорії структурної організації матерії будуть виявлені нові факти, що не вклатимуться у вже відому теорію. Історія розвитку науки і квантової теорії зокрема підтверджує цю тезу.

Незважаючи на те, що прибічники емпірицизму та позитивізму намагалися розробити низку логічних умовиводів, у межах яких було б можливим забезпечити істинність результатів при переході від тверджень про окремі факти до узагальнення, аргументація Д.Юма залишалася нездоланною.

Поппер стверджував, що він знайшов розв'язання проблеми індукції. У працях «Логіка наукового відкриття» (1934 р.), «Припущення і спростування» (1963 р.), «Об'єктивне знання: еволюційний підхід» (1972 р.) та ін. він запропонував *концепцію критичного раціоналізму*, з позицій якої розв'язав проблему індукції.

Прибічники класичного раціоналізму та емпіризму вважали, що існує науковий метод пізнання, який дозволяє досягти надійного та «остаточного» знання. З їх точки зору раціональність полягає в тому, що, керуючись цим методом, можна з високою ймовірністю гарантувати істинність будь-якої теорії. К.Поппер вважав, що таких методів не існує, а раціональність, на його думку, пов'язана не з гарантіями істинності певних знань, а з вибором та критичним аналізом гіпотез. За К.Поппером раціональність полягає в тому, що, маючи кілька альтернативних гіпотез, спираючись на критичний аналіз, дискусії з іншими учасниками дослідження, можна з'ясувати переваги та недоліки кожної гіпотези. Потім на підставі проведених дискусій та результатів раціонально-критичного аналізу обрати одну гіпотезу як тимчасово істинну. Слід підкреслити, що цей вибір є тимчасовим у тому сенсі, що дослідник залишається відкритим для подальшої перевірки та критики обраної гіпотези, і готовий відкинути гіпотезу з огляду на нові факти, які згодом можуть відкритись і які покажуть, що інша, раніше не прийнята гіпотеза тепер найближче належить до істинної (теж тимчасово), і тому треба прийняти нову гіпотезу, на основі якої буде створена нова теорія [196 — 201].

Таким чином, раціональність за Поппером відіграє роль методологічного інструментарію, що дозволяє вважати певну теорію істинною тією мірою, якою вона є кращою за усі відомі альтернативні теорії за наявних фактів.

Замість того, щоб шукати контраргументи, які б спростували аргументацію Д. Юма, К. Поппер погодився і доповнив його своїми власними аргументами. Д. Юм стверджував, що навіть за відсутності раціональних підстав для логічної індукції, певна процедура існує завдяки психологічній індукції. Остання набула помітної підтримки у постпозитивістських поглядах Т. Куна, І. Лакатоса, С. Тулміна, П. Фейєрабенда та багатьох інших, які ґрунтувалися на помірному епістемологічному психологізмі. Сучасна модель науки виключає психологічний контекст у його крайньому прояві, і водночас спирається на методологічний зміст реконструкції, що поєднує в собі, крім логічного, гносеологічного, соціального, й психологічний аспект проблеми. Натомість К. Поппер відкинув психологічну складову індуктивної процедури (але визнавав акт наукового відкриття у психологічному контексті), і запропонував модель, що заперечує будь-які особистісні фактори в аналізі наукового пізнання. Ідея психологічної індукції полягає в тому, що у свідомості дослідника під впливом досвіду відбуваються певні індуктивні процеси — індуктивні умовиводи «за звичкою» — внаслідок чого він поширює знання про явища, які вже спостерігалися, на інші подібні явища, які ще не спостерігались. К. Поппер заперечував доцільність не лише логічної, але й психологічної індукції, підтримуючи ідеї безсуб'єктної епістемології в частині індуктивних процедур.

Розв'язання проблеми індукції, запропоноване К. Поппером, полягало в тому, що індуктивний метод пізнання, за яким відбувається перехід від певної множини спостережень через логічну (або психологічну) індуктивну процедури з наступним узагальненням на рівні теоретичного знання, є хибною інтерпретацією процесу пізнання. Пізнання відбувається гіпотетико-дедуктивним шляхом на початку якого постає наукова проблема, як епістемологічна категорія. Наприклад, вона може існувати у формі протиріччя між усталеною теорією та новими емпіричними фактами. Як вже відзначалося вище, ключовим етапом пізнавального процесу є індуктивна процедура, в адекватній формі віддзеркалена в структурі навчальної діяльності учнів. К. Поппер доводив, що індукція (логічна чи психологічна) непотрібна для пізнання. Центральним поняттям його

епістемологічної концепції є ідея раціоналізму, що має атрибут релятивістського критерію, за яким визначаються відносні переваги однієї гіпотези (або теорії) порівняно з альтернативними гіпотезами (теоріями). Якщо в класичному раціоналізмі або емпірицизмі (позитивізмі) ідея раціональності є жорстко детермінованим критерієм, який гарантує істинність (або високу ймовірність істинності) теорії, то в термінах *критичного раціоналізму*, рацію виступає релятивістським критерієм щодо істинності теорії (концепції, гіпотези, системи поглядів тощо). Термін «релятивізм» тут застосований у сенсі «відносності істинності» певної теорії. Інакше кажучи, це когнітивний релятивізм, хоча загалом попперівська концепція не релятивістська. Отже, релятивізм розуміється у більш вузькому сенсі — теорія тимчасово приймається як істинна, але процес її побудови не припиняється, її істинність не є детермінованою щодо нових емпіричних фактів.

Таким чином, у концепції критичного раціоналізму власне раціоналізм має інше змістове наповнення — замість того, щоб доводити істинність або високу ймовірність істинності теорії (гіпотези) і виступати гарантом цієї істинності, раціональний підхід за К.Поппером передбачає тимчасовий вибір саме тієї теорії, яка краще відповідає певним критеріям та витримує раціональну критику порівняно з альтернативними теоріями або гіпотезами. До вказаних критеріїв належать *універсальні регулярності* та *принцип фальсифікації*.

Подібно до того, як прибічники класичного емпірицизму намагалися обґрунтувати ідею індукції принципом одноманітності природи, К.Поппер визнає, що слід припускати існування універсальних регулярностей, як закономірностей та законів природи. Таким чином, проблема Д.Юма розв'язується не через одноманітність природи (термін сумнівний, в силу складності і різноманітності природних явищ та процесів), а усвідомлення того, що неможливо дати відповідь на юмівську проблему без опори на закономірності, зокрема фізичні закони. Так, ймовірність протікання певного природного явища має більшу ймовірність повторення в майбутньому не тому, що природа одноманітна, а тому, що припущення про його протікання в майбутньому ґрунтується на теорії, яка у світлі відомих емпіричних фактів (результатів спостережень), краща за альтернативні теорії, які стверджують, що спостережуване явище в майбутньому буде відбуватися інакше або зовсім не буде відбуватись

[196].

Другий важливий принцип: фальсифікованість теорій. К.Поппер запропонував замінити верифікацію на фальсифікацію, оскільки процес верифікації має досить сильно виражену асиметрію [266]. Вона полягає в тому, що неможливо в принципі довести істинність будь-якої теорії, — вона дає нескінченну множину емпіричних передбачень, а перевірці піддається лише обмежена підмножина; натомість можна довести хибність теорії, оскільки для цього достатньо одного єдиного емпіричного факту, який або зруйнує її, або змусить дослідників ґрунтовно переглянути основи концепції. У філософській літературі зазвичай наводять приклад із дослідженнями чорних лебедів (вважалося, що лебеді бувають виключно білими аж поки не виявили чорних лебедів в Західній Австралії у 1697 році). Так, твердження «усі лебеді білі» ґрунтується на тривалих спостереженнях за білими лебедями в природі. Усі ці спостереження дозволяють шляхом індукції узагальнити висновок — у природі існують лише білі лебеді. Ця гіпотеза пройде верифікацію і наступні кілька сотень тисяч спостережень ніби підтвердять, що дійсно лебеді трапляються лише білі. Однак, така верифікація є хибною. Дослідники шукають підтвердження своїм припущенням про білих лебедів і знаходять їх у достатній кількості. Проте, лише один чорний лебідь, якого зафіксує орнітолог, зруйнує вже нібито остаточно верифіковану теорію. Як вдало зазначив квант-інженер Н.Н. Талеб, для побудови і перевірки гіпотез важливо не те, що ми знаємо, а те, чого не знаємо. В його відомій праці «Чорний лебідь. Під знаком непередбачуваності» (The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable) [281] розглядається проблема індукції як «наївний емпіризм», що властивий людській природі від народження. Н.Н.Талеб, продовжуючи розвивати ідеї К.Поппера у згаданій праці, розробив теорію, що описує глобальні зміни в різних сферах людської діяльності. «Чорний лебідь» — метафора давно вживана в епістемології, проте більш повно і глибоко застосована Н.Н.Талебом у якості несподіваної події із глобальними наслідками та ілюзією її раціонального пояснення в ретроспективі, після того, як подія вже відбулася. Теорію Н.Н.Талеба можна розглядати і як успішну апробацію ідей К.Поппера і водночас як їх розвиток. Н.Н.Талеб описав так званий ефект раціоналізації важкопрогнозованих подій, коли раціоналізація процесуально відбувається *in modo futuri exacti* — в майбутньому здійсненому часі [35]. На відмінну від попперівської

раціоналізації, *ефект Талеба* відбувається через спостереження та опис уявних подій. Саме така темпоральна локалізація дозволяє Н.Н.Талебу уникнути феномену «надлишкової впевненості», коли апропріація відбувається постфактум через опис наративу та втягнення спостерігача в типізацію емпіричних подій. Зазвичай емпіричний досвід видається сповна прогнозованим, а тому і «Чорний лебідь» знаходить цілком раціональне пояснення і складається ілюзія його передбачуваності, чого насправді не існує.

Фальсифікацію теорії здійснюють через процедуру раціональної критики, суть якої у пошуку аргументів, що спростовують її концептуальні положення. Раціональна критика може здійснюватись у різних формах — через пошук емпіричних фактів або виявлення внутрішніх логічних суперечностей між цією теорією та альтернативними теоріями. Після того, як теорія витримує раціональну критику, її тимчасово приймають як істинну. Постає завдання: серед альтернативних гіпотез обрати одну, яка найкраще витримує випробування раціональною критикою тобто витримує спроби фальсифікації. К.Поппер вважав, що саме таким чином здійснюється розвиток наукового знання — шляхом спроб і помилок, їх критичного переосмислення [197]. З часом, намагання фальсифікувати теорію, неминуче приведе до виявлення її слабких місць, а тому вчені створюватимуть нові теорії, які будуть краще витримувати спроби фальсифікації. Таким чином, не можна бути цілком упевненим у істинності тих, чи інших теорій (принцип фаллібілізму). Цей принцип встановлює обмеження наукового пізнання, особливо щодо застосування індуктивних процедур. Фаллібілізм — наслідок того, що процес фальсифікації не припиняється аж до тих пір, поки не буде створена (або уточнена) нова теорія, яка краще відносно попередньої пройде процедуру фальсифікації, хоч би й тимчасово. Прийняття нової теорії тимчасово, набуття нею статусу пробної, призводить до фаллібілізму власне знань парадигми. Тому постійне піддавання раціональній критиці теорій (гіпотез) вказує на обмеженість та наявність чітких меж наукового пізнання в рамках цих теорій. Проте, процесуально такий поступ саме в силу безперервності пошуку аргументів для фальсифікації теорій, є нескінченним у часі.

Підсумовуючи, слід зазначити наступне. Для класичного емпірицизму та класичного раціоналізму характерними є індуктивний та дедуктивний методи пізнання відповідно. *Класичний раціоналізм,*

як базис постпозитивістської епістемології, сповідує гіпотетико-дедуктивний метод пізнання. Саме за допомогою нього теорії піддаються раціонально-критичному випробуванню через дедуктивне виведення з них різних висновків, що піддаються критиці. Гіпотетико-дедуктивний метод пізнання спрямовує останній як циклічний рух від проблеми до висунення гіпотези, її раціональної критики (спроби фальсифікації) і, далі, прийняття однієї з альтернативних гіпотез або відхилення усіх та постановки нової проблеми. Якщо ж зрештою певна гіпотеза пройде випробування фальсифікацією і буде тимчасово визнана як така, що найближче відповідає істинній, то процес її фальсифікації не припиняється, а відтак, при появі нових фактів, змусить вчених її переглянути, постане нова проблема і цикл повториться знову: *Проблема — Гіпотези — Раціональна критика — Вибір гіпотези — Раціональна критика нової теорії — Нова проблема*. Таку схему будемо надалі називати гіпотетико-дедуктивною.

Інтеграція цієї схеми у навчальний процес в адекватній, стосовно дидактичних принципів формі, вимагає перегляду та докорінної зміни раніше розглядуваної циклічної схеми пізнавального процесу *Дослід — Індуктивне узагальнення — Теоретичне узагальнення — Теорія — Верифікація теорії*. Проведений нами порівняльний аналіз цих схем показує, що концептуально вони відрізняються, по-перше, місцем та роллю фізичного експерименту в навчальному процесі; по-друге, наявністю у другій схемі процедури раціональної критики гіпотези (або кількох гіпотез); по-третє, елементом на якому замикається цикл — для першої схеми таким елементом є дослід (демонстраційний або фронтальний експеримент в навчальному процесі), а для другої — проблемна ситуація, яку необхідно вирішити шляхом критичного аналізу гіпотези (або гіпотез); по-четверте, методологічно вказані підходи відрізняються превалюванням різних наукових методів пізнання — у першій схемі первинною є індуктивна процедура, а у другій — дедуктивний метод пізнання.

Емпірично-індуктивна передбачає збір емпіричних фактів, врахування чуттєвого досвіду учнів, вимірювання фізичних величин тощо для накопичення необхідного емпіричного базису, спираючись на який формують гіпотезу. Вказана гіпотеза має враховувати усі спостережувані під час демонстрації явища, характер їх протікання, математичні залежності між величинами, що характеризують ці явища або властивості тіл. Через аналіз сформульованої гіпотези

приходять до фізичної моделі (якщо є можливість), яку необхідно експериментально обґрунтувати (верифікувати в сильному сенсі). Тепер, коли учням пояснили механізм протікання явища на основі модельного підходу, учитель викладає теоретичні положення (через узагальнення), що підтверджують і висунуту гіпотезу, і розглядувану модель. На завершення проводять експеримент, з метою верифікації теорії у слабкому сенсі — передбачення нових явищ або процесів. З позиції методики, емпірично-індуктивний підхід має незаперечні переваги, оскільки формування основ теорій відбувається на відповідному науковому рівні адекватному до математичної підготовки учнів. Також це дозволяє уникати догматичності у викладанні, коли учні на експериментально добутих фактах або на власному чуттєвому досвіді переконуються у справедливості викладеного учителем навчального матеріалу. Проте, емпірично-індуктивна схема має ряд суттєвих недоліків, що особливо загострюються при вивченні відомостей із квантової фізики. Головна проблема, як вже відзначалося вище, — неможливість опори на чуттєвий досвід, коли необхідно формувати наукові поняття, до яких складно підібрати адекватну систему демонстрацій фізичних дослідів, а також складно порівняти із чуттєвим досвідом учнів. Як унаочнити фотон або електрон? Зрозуміло, що методичні знахідки щодо поліпшення цієї ситуації розроблялись (і подекуди успішно), проте кардинально не дали «виграшу» а ні в методичному, а ні в методологічному аспектах.

Варто згадати про ще одну проблему, пов'язану із емпірично-індуктивним підходом щодо формування основ теорій. Проведений нами вище аналіз (І розділ) засвідчив, що традиційно рівень наукових знань учнів підвищували шляхом залучення як найбільшої кількості емпіричних фактів, відомих науці. Реформа змісту фізичної освіти (1967—1973 р.р.) мала на меті саме такий спосіб приведення рівня викладання фізичних теорій та формування фізичних понять до тогочасного рівня — збільшення об'єму інформації, хоч і добре відібраної та класифікованої, з уточненими формулюваннями понять тощо. Головним мотивом такого збільшення інформаційного масиву була необхідність показати учням як фізична наука дозволяє пояснювати механізм протікання явищ і процесів. Наприклад, вивчення теорії будови речовини дозволяло продемонструвати учням, як, озброївшись положеннями цієї теорії, можна пояснити властивості тіл, перебіг теплових явищ тощо.

Згодом стало очевидно, що екстенсивне зростання наукового рівня викладу фізичних знань обумовлене емпірично-індуктивним підходом, який спирається на індуктивну процедуру накопичення емпіричних фактів, їх підтвердження через фізичний експеримент і т.д., призводить до неминучого зростання обсягу навчального матеріалу, який учневі слід засвоїти. Проте, результатом згаданої вище реформи стало не лише зростання обсягу наукової інформації, збільшення математичного апарату шкільної фізики, а й бурхливий розвиток системи шкільного фізичного експерименту (1970—1980-ті роки), що мало досить позитивний вплив на формування методичної системи навчання фізики у загальноосвітній школі загалом. Згодом, накопичення об'єму інформації стало проблемою, яка полягала в переобтяженні учнів занадто громіздким фізичним змістом. Існує щонайменше два шляхи вирішення цієї проблеми. Перший підхід пов'язаний зі зміною змісту фізичної освіти. Другий — із зміною її парадигми. Очевидно, що обидва напрямки взаємопов'язані, питання лише в тому, що має пріоритет — змістова компонента чи її реалізація через відповідні технології навчання. В інтересах нашого дослідження, надалі розглядатимемо другий напрямок у контексті розвитку навичок критичного мислення в учнів. Замість того, щоб підвищувати науковий рівень викладу за рахунок залучення нових наукомістких понять, варто формувати в учнів уміння критично мислити, спираючись на навчальний матеріал, який не переобтяжений складною термінологією та математичним апаратом. Такий стиль викладання передбачає зміщення акцентів у цілях навчання із засвоєння складних наукових понять на формування в учнів нового типу мислення, що передбачає оперування поняттями, які актуальні не лише в контексті останніх наукових досягнень, а й із життям поза школою. Це дозволить, по-перше, успішно формувати змістову компоненту компетентнісно-орієнтованої методичної системи; по-друге, розвивати в учнів уміння критично мислити, «думати як вчені» та розв'язувати навчальні завдання і задачі, проблемні ситуації, що зустрічаються повсякчас у житті пересічного учня [370]. По-третє, екстенсивне зростання наукового рівня викладу фізичних знань обумовлене саме емпірично-індуктивним підходом, який спирається на індуктивну процедуру накопичення емпіричних фактів, їх підтвердження через фізичний експеримент і т.д., призводить до неминучого зростання обсягу навчального матеріалу, який учневі слід засвоїти.

2.2.2. Технологія мобільного навчання

Стрімка еволюція технологій визначає майбутній розвиток системи освіти. Технологічність освіти стає все більше витребуваною, оскільки накопичення знань і фактичного матеріалу не є першочерговим завданням сучасного освітнього процесу. Результати навчання видаються нам не просто накопиченням певного масиву знань, але появою в учнів нових якостей, головними серед яких є здатність до усвідомлених дій, спрямованих на створення нових знань. У рамках нової парадигми освіти, знання є другорядним результатом, який накопичується у вигляді досвіду успішної навчальної діяльності учня. Таким чином, технології навчання повинні мати в своєму інструментарії методи навчання, спрямовані на вироблення в учнів певних способів діяльності, що дозволятимуть їм приймати виважені рішення, здатність критично оцінювати та аналізувати отриману інформацію, придумувати різні способи вирішення завдань на основі спільних рішень в групі, брати участь в дискусії для вироблення спільних узагальнень. Такі технології навчання є компетентнісно орієнтованими. Одна з них — електронне навчання на основі мобільних засобів комунікації.

Під мобільним навчанням або *mobile learning* (m-learning) розуміємо використання мобільної технології в навчальному процесі. Мобільні технології — це широкий спектр цифрових і повністю портативних мобільних пристроїв (мобільних телефонів, смартфонів, планшетних комп'ютерів, електронних книг, ноутбуків тощо), що дозволяють здійснювати операції з отримання, обробки та поширення інформації.

Використання мобільної технології можливе окремо, або в сукупності з іншими інформаційними та комунікаційними технологіями (ІКТ). У цьому сенсі мобільне навчання слід розглядати як окремий напрямок у галузі застосування ІКТ в освіті. Модель застосування ІКТ у системі освіти завжди мала ряд технічних обмежень, що впливали з апаратних характеристик пристроїв. Наприклад, традиційно ІКТ пов'язували із персональними стаціонарними комп'ютерами, а тому їх застосування обмежувалося ціною цього обладнання, розмірами і вагою та необхідністю використовувати у спеціально відведених приміщеннях. Розвиток комп'ютерних та мобільних технологій змінює вказані

характеристики, а відтак повсякчас змінює підходи до застосування ІКТ в освітніх середовищах. Це обумовлено особливостями застосування мобільних пристроїв для отримання, обробки та передачі інформації.

Назвемо кілька з них, що помітно відрізняють мобільні технології від традиційних ІКТ:

- мобільні пристрої належать приватним особам, а не організаціям;
- доступність мобільних технологій постійно зростає;
- швидкий розвиток суміжних технологій, пов'язаних із передачею і збереженням інформації в мережі Інтернет (наприклад, хмарних технологій) збільшує актуальність мобільних пристроїв.

Ці та інші особливості пов'язані щонайменше з двома характеристиками мобільних пристроїв — наявністю бездротового підключення до мережі Інтернет; потребуванням менших апаратних ресурсів у порівнянні із стаціонарними комп'ютерами. Водночас мобільні пристрої функціонально дозволяють виконувати завдання, яких сповна достатньо для їх широкого застосування в освітніх системах. Техніко-технологічні параметри мобільних пристроїв дозволяють використовувати їх у навчальному процесі. Однак, чи будуть ці можливості ефективно використані, залишається відкритим питанням. Свідченням цьому є дискусія між прибічниками та противниками мобільного навчання, яка активно обговорюється педагогічною громадськістю.

З практики використання мобільних технологій у навчанні відомо кілька форм організації мобільного навчання [385]:

- технологічне мобільне навчання (Technology-driven mobile learning): конкретні технологічні інновації вивчаються в академічному середовищі, щоб продемонструвати технічну доцільність та педагогічні можливості;
- мініатюрне, але портативне електронне навчання (Miniature but portable e-learning): мобільні, бездротові технології та портативні технології, які вже використовуються в звичайних електронних засобах (перенесення деяких технологій електронного навчання, наприклад, віртуального навчального середовища, на мобільні технології та інші);
- навчання, пов'язане з аудиторією (Connected classroom learning) — мобільні технології використовуються в класі для підтримки

спільного навчання та у зв'язку із використанням інших технологій навчання;

- неформальне, персоналізоване, ситуативне мобільне навчання (Informal, personalized, situated mobile learning): мобільне навчання, що підсилене додатковою функціональністю, наприклад, об'єднанням учасників навчального процесу локальною мережею, що спрямовано на освітню діяльність, яка утруднена або неможлива в класичному розумінні;
- віддалене, сільське, таке, що розвивається мобільне навчання (Remote/rural/development mobile learning): мобільні технології використовуються для вирішення екологічних та інфраструктурних завдань, що надаються освіті з метою її підтримки там, де звичайні електронні технології навчання (традиційні ІКТ) не спрацювали у повній мірі ефективно;
- мобільне навчання, підтримка ефективності (Mobile training/performance support): технології використовуються для підвищення продуктивності та ефективності мобільних співробітників, забезпечуючи інформаційну підтримку точно в строки та в контексті їх пріоритетів.

Застосування мобільного навчання вимагає по-новому поглянути на навчальний процес із методичної точки зору. У цьому нас переконали спостереження, проведені на уроках фізики, де використовувались мобільні технології. Аналіз результатів цих спостережень дозволив виокремити ряд важливих тенденцій, що значно підвищують ефективність викладання і водночас вимагають перегляду традиційних підходів до навчання:

- Персоналізація навчання.
- Миттєвий зворотній зв'язок.
- Ефективне використання навчального часу на уроках.
- Неперервність навчального процесу.
- Якісно новий рівень управління навчальним процесом.

Персоналізацію навчання можна розуміти як глибший рівень диференційованого навчання. Мобільні пристрої, зазвичай, власність учнів і тому знаходяться у їх розпорядженні протягом усього дня, а не лише під час уроків. Саме тому мобільні технології дозволяють у більшою мірою індивідуалізувати навчання окремого учня, створити умови, за яких він матиме власні завдання, які враховуватимуть його здібності та нахили, інтереси та досвід, коли учень

використовуватиме мобільний пристрій для виконання завдань (розв'язування задач, читання текстів, перегляду контенту із навчально-виховним змістом тощо) у зручний для нього час. Водночас термін «персоналізація» має й інший зміст, що пов'язаний із збиранням інформації про користувачів мобільними технологіями. Різні користувачі віддають перевагу різним способам та формам перегляду та засвоєння інформації (таблиці, графіки, тексти тощо). Тому розвиток персоналізованих технологій дозволять у майбутньому учням вільно обирати форму зчитування інформації.

Ще один важливий аспект персоналізації навчання — різний темп засвоєння навчального матеріалу для учнів із неоднаковими здібностями. Якщо застосування традиційних методів навчання та ІКТ, пов'язаних із стаціонарними комп'ютерами, дозволяло лише частково диференціювати темп викладу та засвоєння нової інформації для учнів із різними навчальними можливостями, то використання мобільних пристроїв помітно розширює межі швидкості викладу та засвоєння навчального матеріалу. Це пов'язано з можливістю їх використання за межами навчального закладу. Таким чином, мобільні технології відповідають особистісно-орієнтованому підходу до навчання та піднімають його на якісно новий рівень.

Миттєвий зворотній зв'язок досягається за рахунок використання мобільних програм або платформ (призначених для використання на мобільних пристроях та стаціонарних комп'ютерах), з метою прискорення оцінювання результатів навчання, відслідковування досягнутих результатів учнями. З метою перевірки ефективності використання учителем мобільних пристроїв на уроках фізики, автором було проведено ряд уроків фізики в 10—11 класах із використанням платформи Plickers. З'ясувалося, що застосування цієї мобільної технології повністю автоматизує процес збору, аналізу та обробки відомостей про результати навчання, а тому дозволяє здійснювати швидке прогнозування навчальних успіхів учнів. Причому оцінка відповідей учнів відбувається миттєво і на екран мобільного пристрою (смартфону чи планшету) учителя виводиться інформація про кількість правильних та неправильних відповідей із вказівкою відповідних прізвищ учнів, графік загальної кількості відповідей, що дозволяє йому спрогнозувати подальші власні дії на уроці щодо вибору навчального матеріалу для повторного розгляду, що недостатньо засвоєний учнями.

Існує величезна кількість мобільних додатків, платформ та

ресурсів (Google Forms, Survey Monkey, Kahoot!, Socrative, Plickers та багато інших) за допомогою яких учитель має можливість швидко оцінити знання та уміння учнів. Як правило, ці програми можуть працювати в різних операційних системах (Windows, Linux, Android), тому учень може відповідати на контрольні запитання або проходити тест із власного мобільного пристрою, а не стаціонарного комп'ютера навчального закладу.

Google Forms дозволяє створювати великі за обсягом опитування із запитаннями різних типів і може використовуватися для роботи з класом в аудиторії, а також для дистанційного опитування протягом тривалого часу. Обидва варіанти передбачають відповіді учнів із власних мобільних пристроїв. Kahoot!, Socrative та Plickers орієнтовані на швидку обробку результатів тестування чи опитування. Це особливо важливо, коли учитель використовує орієнтуючу функцію перевірки знань.

Загалом, проведені нами дослідження, дозволяють стверджувати, що дані сервіси і програми у повною мірою реалізують дидактичні функції обліку знань: контролюючу, навчальну, орієнтуючу та виховну. Водночас, за рахунок виконання вказаними вище мобільними платформами та сервісами трудомістких логічних операцій, учителі можуть більше часу приділяти безпосередній роботі з учнями. Звідси випливає наступна теза — ефективне використання навчального часу на уроках.

Дослідження ЮНЕСКО показали, що за допомогою мобільних пристроїв учителі можуть ефективніше використовувати час на уроках [230]. Одним із варіантів реалізації цієї концепції є модель навчання, яка називається «перевернутий клас». Суть її полягає в тому, що учням пропонують прослуховувати лекції на мобільних пристроях за межами школи. Ознайомлення учнів із новим матеріалом та пошук нової інформації відбувається вдома, під час прогулянки тощо. За рахунок цього більше часу звільняється для застосування отриманих у такий спосіб знань для практичного використання під час уроків. Практичні завдання, які раніше слід було виконувати вдома, тепер виконуються в класі, а те, що раніше виконувалось у школі під час уроків, — засвоєння нових знань — здійснюється вдома, за межами школи. У результаті зростає ефективність засвоєння нових знань, а навчальна діяльність учнів кардинально змінюється. Таким чином, використання мобільних технологій дозволяє більш продуктивно впроваджувати діяльнісний

підхід до навчання.

Неперервність навчального процесу пов'язана з кількома факторами. По-перше, більшу частину часу мобільний пристрій залишається у його власника, тому навчання можна проводити у будь-який час і не лише в стінах навчального закладу. По-друге, існує велика кількість програм, які дають вибір стосовно затраченого часу на виконання завдань: учень може на власний розсуд витратити кілька хвилин для розв'язання конкретної задачі або сконцентруватися на виконанні іншого завдання протягом кількох годин. Учень самостійно обирає, яке завдання виконувати і скільки часу витрачати. По-третє, неперервність навчання обумовлена використанням хмарних сховищ. Використання хмарних технологій покликане зберігати і використовувати масиви інформації незалежно від обладнання, яке використовується для доступу до хмарних ресурсів. У навчальному процесі це дає не просто «безперервність» навчання, а «безшовність», коли учень працює з одним матеріалом на різних пристроях — стаціонарних ПК, ноутбуках, планшетах, смартфонах — використовуючи переваги кожного типу. Стаціонарний комп'ютер доцільніше використовувати для складних завдань: проведення фізичних дослідів, підготовки звіту, написання рефератів або дослідницьких робіт тощо. Мобільний пристрій більше придатний для ведення заміток або внесення даних експерименту і т. д. Сучасні програмні засоби (наприклад, веб браузер Chromium, хмарне середовище Dropbox та інші) дозволяють через хмарні технології синхронізувати роботу отриманих даних на різних пристроях. Це забезпечує продовження роботи на мобільному телефоні (смартфоні) з того місця, де вона була призупинена на комп'ютері і навпаки.

Новий рівень комунікації та управління навчальним процесом забезпечується шляхом використання мобільних пристроїв для зв'язку між учасниками освітнього середовища. Проведені нами спостереження за навчальним процесом підтверджують, що, якщо при цьому використовується відповідне інформаційне середовище для дистанційної освіти (наприклад, moodle), то це значно поліпшує зв'язок порівняно із іншими каналами зв'язку. Учителі можуть робити запит в учнів на відповідь на завдання, а батьки — здійснювати контроль за успіхами дітей через отримання актуальної інформації зі школи.

Слід визнати, що мобільне навчання не є панацеєю від усіх проблем, пов'язаних із викладанням фізики в загальноосвітній школі.

Проте, не слід недооцінювати потенціал даних технологій. Викладені вище результати досліджень використання мобільних технологій у навчальному процесі свідчать, що, по-перше, мобільне навчання вимагає впровадження нових підходів, моделей навчання, методичних систем, які б враховували особливості мобільних технологій у навчанні; по-друге, технологія мобільного навчання сповна відповідає триєдиному підходу до навчання, про який зазначалось вище. Водночас, використання технології мобільного навчання відокремлено від інших технологій є недоречним. Тому, на наш погляд, слід не просто штучно поєднувати мобільне навчання разом із традиційними методами навчання, а розробити нові способи донесення нової інформації із застосуванням мобільних пристроїв та здійснити інтеграцію мобільного навчання із іншими компетентнісно орієнтованими технологіями, які в сумі дадуть максимальний ефект.

Перед тим, як описати інтеграцію мобільного навчання в пропоновану методичну систему, вкажемо на обмеження застосування цієї технології. Обмеження викликані, головним чином, двома чинниками. Перший пов'язаний із особливостями надання мобільного обладнання. Можливі два варіанти надання мобільних пристроїв учням та педагогам: а) державні установи надають повний або частковий доступ до пристроїв; б) учні та педагоги використовують власні пристрої (так звана модель BYOD (Bring Your Own Device - «принеси власний пристрій»). У масовій школі переважає останній варіант, тому можливі випадки, коли учні з сучаснішими пристроями будуть мати перевагу перед іншими учнями (більш швидкісне підключення до мережі Інтернет тощо). Другий чинник, що обмежує застосування мобільних пристроїв впливає з першого і полягає в неоднаковості апаратних характеристик мобільних пристроїв та недостатній кількості відповідного програмного забезпечення, адаптованого для використання в школі. Остання теза не претендує на абсолютно вірне твердження, адже кількість програм для мобільного навчання швидко та невпинно зростає.

Існує кілька варіантів застосування мобільних пристроїв під час уроку фізики. Серед них: а) учні разом з учителем використовують мобільні пристрої; б) мобільний пристрій застосовує лише учитель. Другий варіант нівелює вказані вище недоліки застосування мобільних технологій.

Інтеграція мобільного навчання до пропонованої методичної

системи здійснювалось як складова, що дозволяє здійснювати контроль та оцінювання знань учнів та як засіб наочності. З цією метою нами було використано платформу Plickers, Google Клас та програмний додаток Physics to school.

Розглянемо спочатку традиційні способи перевірки знань та порівняємо їх із можливостями, які надають мобільні технології.

У методиці навчання фізиці склалися наступні три способи перевірки навчальних досягнень учнів: 1) усна перевірка (індивідуальне, ущільнене та фронтальне опитування), 2) письмова перевірка (короткочасні та підсумкові контрольні роботи, диктанти, перевірка домашнього завдання), 3) перевірка із введенням відповіді до комп'ютерної програми, тобто з використанням ІКТ.

Серед функцій перевірки та оцінювання знань учнів виділяють чотири основні: інформаційна, діагностична, навчальна та виховна. В інтересах нашого дослідження розглянемо діагностичну функцію. Для того аби своєчасно вносити зміни та корекцію в уміння учнів застосовувати набуті знання на практиці, зрештою, для перевірки правильності та повноти засвоєння окремих понять, учитель використовує відповідні способи перевірки навчальних досягнень учнів. Контрольно-коректувальна функція дозволяє, зокрема, вносити корекції в методику навчання та здійснювати відбір відповідних методів навчання у межах концептуальних положень відповідної технології навчання. Проведені нами спостереження за навчальним процесом та бесіди із досвідченими учителями-методистами, дозволили зробити припущення, що спосіб перевірки знань та умінь учнів буде сповна реалізовувати діагностичну функцію, якщо буде відповідати двом критеріям — 1) кількості залучених учнів у перевірці; 2) швидкості обробки результатів перевірки з тим, щоб власне здійснити необхідну діагностику щодо корекції знань учнів; 3) вплив на хід перевірки особистісно-професійних якостей учителя. Чим більша кількість учнів залучені під час зрізу знань та чим швидше оброблені результати перевірки знань учнів, тим ефективнішим виявляється обраний спосіб. Третій критерій, навпаки, має бути мінімальним, щоб особистість учителя (його характер, манера викладу матеріалу тощо) мали мінімальний вплив на обраний спосіб перевірки знань. Відповідно до вказаних критеріїв розглянемо діагностичну функцію перевірки знань та умінь учнів.

1. Кількість залучених учнів у перевірці. Найбільшого поширення у шкільній практиці набула, звичайно, усна перевірка знань учнів.

Усне опитування має ряд неперевершених переваг: учитель може безпосередньо спостерігати за ходом міркувань учня, здійснювати контроль за правильним вживанням ним фізичної термінології, логікою мислення, умінням аналізувати та класифікувати факти та явища, здатністю чітко і ясно формулювати свої думки, вести зв'язане мовлення. У методичній літературі найчастіше усне опитування пов'язують із: перевіркою домашнього завдання на початку уроку; актуалізацією знань учнів перед викладом нового навчального матеріалу; закріпленням нового навчального матеріалу, обговоренням розв'язку задачі, результатів демонстраційного експерименту або під час пояснень щодо виконання фронтальної лабораторної роботи.

При індивідуальному опитуванні охоплюється 1—3 учні, хоча й вдається достатньо детально з'ясувати рівень їхніх знань. Для того, аби збільшити кількість опитаних учнів, рекомендувалося вдасться до ущільненого індивідуального опитування, коли після формулювання учителем 2—3 запитань, викликаються до дошки 2—3 учні, які відповідають на поставлені запитання, після нетривалого обдумування. Проте, ущільнене індивідуальне опитування, як свідчить досвід, мало допомагає вирішити проблему залучення як найбільшої кількості учнів до обговорення навчальної проблеми.

Фронтальне опитування дозволяє опитати значну кількість учнів класу (7—10 учнів), рідше — увесь клас. Учитель може ставити запитання, що не потребують розгорнутої відповіді. Проте запитання, які вимагають не коротких відповідей або обрання лише одного з двох варіантів (правда або неправда), дозволяють опитати майже увесь клас (90% від кількості учнів класу).

Для того, щоб охопити найбільшу кількість учнів класу опитуванням, фронтальне опитування, зазвичай, рекомендувалося комбінувати із індивідуальним або ущільненим індивідуальним.

У порівнянні із усним опитуванням письмовий спосіб має перевагу, оскільки дозволяє перевірити знання певних питань теми або розділу курсу фізики, з'ясувати уміння учнів розв'язувати задачі тощо. Письмовий спосіб перевірки знань дозволяє охопити усіх присутніх у класі учнів.

При використанні способу, коли учні вводять відповідь у персональний комп'ютер, вдається значно розширити кількість опитаних — практично увесь клас. Тому переваги використання ІКТ з метою перевірки знань учнів є очевидним з огляду як найбільшої кількості залучених учнів.

Таким чином, відносно критерію кількості учнів, що беруть участь у перевірці знань, письмовий спосіб та тестова перевірка знань із використанням ІКТ мають помітну перевагу порівняно із усним способом.

2. Швидкість зворотнього зв'язку. При індивідуальному опитуванні, ущільненому та фронтальному опитуванні вдається відразу встановити рівень засвоєння знань учнів у невеликій кількості (30% від загальної кількості учнів у класі). Завдяки письмовій перевірці учитель може оцінити та проаналізувати рівень навчальних досягнень усього класу, проте цей процес відбувається довго і може тривати кілька днів: у кращому випадку учні дізнаються про результати короточасної контрольної роботи на наступному уроці. Проте, як свідчить практика, для реалізації діагностичної функції необхідно неперервно слідкувати за якістю засвоєння навчального матеріалу кожним учнем і на цій основі коректувати навчальний процес. Неперервність означає швидкий зворотній зв'язок, коли інформація про засвоєння учнями тих чи інших понять надходить до учителя швидко, хоча би в межах уроку. Усні та письмові способи перевірки знань мають суттєвий недолік саме в повільній обробці результатів перевірки, тому функція корекції знань учнів залишається практично не реалізованою. Застосування ІКТ у традиційному розумінні, коли для перевірки знань використовують відповідні комп'ютерні програми або платформи, ситуація не покращується. Комп'ютерна програма дозволяє практично миттєво отримати результат перевірки, проте досягти неперервності цього процесу повною мірою не вдається. Це пов'язано з тим, що використання комп'ютерів вимагає спеціального обладнання та відповідного приміщення. З цією метою учителю слід проводити урок у класі, обладнаному комп'ютерами, що не завжди вдається реалізувати. Інакше кажучи, недоцільно кожного разу садити учнів за комп'ютери, коли треба провести фронтальне опитування.

3. Вплив на хід перевірки особистісно-професійних якостей учителя. Усні способи перевірки знань можуть давати неоднаковий ефект залежно від майстерності учителя, його особистісних характеристик (тип темпераменту, швидкість реакції на відповіді учнів тощо). Письмові способи та використання комп'ютера повністю нівелюють вплив особистісно-професійних якостей учителя на хід та результати перевірки.

Підсумовуючи, слід підкреслити наступне. Письмові способи

перевірки знань дозволяють охопити найбільшу кількість учнів (винятково усіх, хто присутній у класі на момент проведення контрольної роботи). Проте, швидкість отримання результатів перевірки досить повільна, тому корекція навчального процесу малоефективна. Усні способи перевірки знань мають досить високу швидкість отримання результатів перевірки, а тому дозволяють з високою вірогідністю стверджувати про ефективну корекцію навчального процесу. Проте, кількість учнів, відносно яких буде проведено таку корекцію, буде невисокою. Тому ефективність письмового та усного способів перевірки знань із метою діагностики та корекції навчального процесу залишається невисокою. Проведені бесіди із учителями підтверджують останню тезу. Більшість учителів (95% від загальної кількості респондентів) для діагностики знань учнів та з'ясування подальшого напрямку викладу навчального матеріалу використовують письмовий спосіб перевірки знань учнів. Усним способам віддають перевагу, коли необхідно досягти інших дидактичних цілей — провести актуалізацію опорних знань учнів, здійснити закріплення раніше вивченого навчального матеріалу, перевірити домашнє завдання тощо.

Кожний із описаних способів перевірки знань учнів має певні переваги та недоліки, дозволяє ефективно реалізувати прогнозуючу функцію лише частково (задовольняє не усім критеріям). Тому варто оптимально поєднувати різні способи перевірки знань учнів.

Однак, якісно підвищити ефективність перевірки знань учнів можна, вдавшись до мобільних технологій. Так, мобільна платформа Plickers або Google Forms дозволяють подолати усі вказані вище труднощі та ефективно і швидко перевірити рівень навчальних досягнень учнів, скоректувати подальшу діяльність учителя відносно навчальної траєкторії кожного учня. Застосування мобільних пристроїв на уроках дозволяє до уже відомих способів перевірки знань учнів додати ще один — *спосіб перевірки знань учнів за допомогою мобільної технології*. Наші дослідження дозволили виокремити головні його переваги. Вкажемо їх з огляду на сформульовані вище критерії.

1. Кількість учнів, охоплених перевіркою. За допомогою мобільних пристроїв вдається охопити усіх учнів, навіть тих, які не присутні на уроці. Під час проведення експериментального навчання у класах, де використовувались мобільні технології, нами було спеціально організовано залучення учнів, які були відсутні на уроці з

поважних причин. З цією метою їх попереджали про дату проведення тестування. Потім, у визначений заздалегідь час, вони отримували тестові завдання за допомогою Google Forms, які необхідно було виконати і відправити відповідь учителю на поштову скриньку. У такий спосіб практично всі учні приймали участь в опитуваннях чи тестуванні.

2. Швидкість зворотнього зв'язку. Мобільні пристрої дозволяють не лише забезпечити швидкий зворотній зв'язок, що властиво будь-якому засобу ІКТ, що працює завдяки персональним комп'ютерам, а й уможливають неперервність та персоналізацію навчання. Проілюструємо останню тезу на прикладі роботи мобільної платформи Plickers.

Plickers дозволяє проводити фронтальне опитування учнів, анкетування, оцінку знань, збір та аналіз відповідної інформації про успішність та ефективність застосованих методик. При цьому мобільний пристрій під час уроку використовує лише учитель. Основу роботи Plickers складають:

- мобільний додаток Plickers (для iOS або Android);
- сайт www.plickers.com;
- картки з QR- кодом, які можна віддрукувати із вказаного сайту.

Працює Plickers наступним чином. Учні заздалегідь роздавали картки з QR-кодом — квадратної форми. Кожній стороні квадрату картки відповідає літера (A, B, C, D) — чотири варіанти відповідей. Коли учитель ставить запитання перед класом (наприклад, під час фронтального опитування), кожен учень обирає варіант відповіді та піднімає картку відповідним боком догори (або донизу — це можна змінити у налаштуваннях, натиснувши кнопку «rotate answers»). Далі, учитель за допомогою мобільного додатку Plickers сканує відповіді класу, навівши камеру смартфона (або планшета) на учнів, які тримають картки так, щоб учитель їх добре бачив. Сканування триває кілька секунд, а результати автоматично зберігаються (без участі учителя) до бази даних і є доступними відразу на мобільному пристрої — на екрані смартфона з'являється таблиця із прізвищами учнів і кольоровою відміткою правильності або неправильності відповіді для кожного учня. Окрім цього, для кожного запитання вказується відсоток правильних відповідей від загальної кількості отриманих відповідей. Таким чином, учитель після постановки питання відразу (через 2—3 секунди) може бачити, яка частка учнів у відсотках правильно відповідає і чи варто до цього питання

повертатися чи спиратися на нього під час пояснення нового навчального матеріалу. База даних із відповідями доступна також на сайті www.plickers.com в закладці Reports. Після уроку учитель має можливість провести детальний аналіз результатів тестування на стаціонарному комп'ютері або з мобільного пристрою (в цьому випадку підключення до мережі Інтернет не обов'язкове) — в програмі Plickers, відкривши закладку History. Таким чином, за допомогою Plickers вдається провести фронтальне опитування і подолати усі недоліки даного способу перевірки знань учнів — залучити усіх учнів; відразу (протягом 2—3 секунд) отримати вичерпну інформацію про результати опитування у вигляді графіків та у відсотковому вираженні для кожного сформульованого учителем запитання.

Нижче наведено методичні особливості застосування мобільних технологій на уроках фізики.

1. Plickers. Особливості налаштування та роботи даної платформи було розглянуто вище, тому зупинимось на методичних аспектах її застосування. У межах пропонованої методичної системи навчання квантової фізики в старшій школі, нами було розроблено кілька варіантів використання Plickers.

1. *Фронтальне опитування* з метою діагностування навчальних досягнень учнів або перевірки сформованості певних понять. Учитель заздалегідь готував запитання для проведення короткочасного тестування. Питання підбирались таким чином, щоб з'ясувати наявність в учнів здатності застосовувати набуті знання на практиці, виявити уміння до логічного мислення при оперуванні фізичними термінами, критичного мислення. У ході опитування на екран мобільного пристрою учителя виводилась інформація про рівень засвоєння учнями того чи іншого поняття, здатності до виконання певних дій тощо. Учитель відразу відмічав ті результати, які свідчили про недостатність їх засвоєння старшокласниками. З метою їх повторного розгляду наперед готувався відповідний навчальний матеріал, навчальні фізичні задачі, завдання для опрацювання лекційного матеріалу в домашніх умовах, віртуальні досліди і спостереження та пов'язані з ними завдання з обробки результатів експерименту тощо. Систематичні опитування за допомогою платформи Plickers та швидке реагування учителя на їх результати у вигляді нових завдань для учнів, значно поліпшило рівень навчальних досягнень учнів та дозволило спостерігати за

навчальною діяльністю кожного учня окремо. Цей підхід застосовувався при вивченні відомостей з теми «Квантова оптика» в 11 класі і можливий завдяки швидкому зворотньому зв'язку, коли учитель може відразу поставити учням нові домашні завдання (диференційовані) з урахуванням результатів проведеного тестування.

2. *Подвійне тестування.* Суть цієї моделі застосування Plickers полягала в тому, що тестування проводили на початку та в кінці уроку. Зміст тестів був однаковим. Спочатку учням пропонували відповісти на запитання невеликого тесту (5—7 запитань). Після викладу нового навчального матеріалу ці ж тестові запитання пропонувалися знову. Подвійне тестування дозволяє оцінити прогрес з досягнення мети уроку. Встановлення вимірюваних цілей чітко визначає діяльність та послідовність дій учителя, узгоджує навчальну діяльність учнів із метою уроку, що призводить зрештою до відкидання усього зайвого та другорядного, що відволікає від головної мети уроку. Це дозволяє оцінити не лише знання учнів, а також з'ясувати, застосування яких саме методик дозволяє ефективніше досягти поставленої мети. Водночас, ідеалізовані цілі, зазвичай, неможливо оцінити та виміряти на предмет їх досягнення. Тому застосування критерію вимірюваності цілі, відкидає усі ідеальні цілі (освітні стандарти), які недосяжні в межах одного уроку.

Ще один важливий критерій, якому має відповідати мета уроку — доступність для учнів. Це означає, що вони повинні знати та чітко усвідомлювати мету уроку. Існує багато способів домогтися від учнів усвідомлення мети уроку, одним із них є постановка запитань на які учням важко відповісти, оскільки не вистачає відповідної інформації, що міститься у новому навчальному матеріалі. Пропонована модель використання Plickers змушує учнів замислитись над запитаннями, для відповіді на які їм потрібно засвоїти нові відомості про явища або процеси, що вивчаються згідно з навчальною програмою.

3. *Локальне (часткове, попереднє, модульне) опитування* — фронтальне опитування, яке проводили після повідомлення певної частини (порції) нових для учнів відомостей. Виклад великого за обсягом навчального матеріалу зазвичай здійснюють у вигляді логічно зв'язаних блоків або частин (модулів, порцій). При переході від одної порції навчального матеріалу до наступної, учителю корисно оцінити наскільки учні зрозуміли попередній блок інформації. З цією метою, зазвичай, проводять попереднє закріплення пройденого матеріалу шляхом фронтального опитування. Проте, часто вдаватись до попереднього закріплення недоцільно за браком

часу: опитування учнів може затягнутися до 10—15 хвилин. Оскільки Plickers дозволяє опитати увесь клас протягом 30—40 секунд, можна вдаватися до наступної методики. Після завершення викладу певного логічного блоку інформації, учитель пропонує учням 1—2 запитання, відповісти на які можна піднявши картку з QR-кодом. Учні, які відповіли неправильно, відразу стають відомі учителю і він просить їх ще раз відповісти усно, а учнів, що відповіли правильно — прокоментувати відповіді товаришів. Таким чином, вдається індивідуально коригувати знання окремих учнів протягом 2—3 хв.

4. *Опитування учнів про виконане завдання.* Власне предметом опитування може бути не лише результат виконання завдання чи розв'язку задачі. Учитель має можливість з'ясувати ціннісне ставлення учнів до теми що вивчається, з'ясувати побажання учнів на наступний урок тощо. Одним із варіантів такого підходу може бути наступний. Учні пропонують самостійно розв'язати одну або кілька задач. Через певний проміжок часу учитель просить учнів підняти картки і обрати варіант відповіді (наприклад, А) тим, хто отримав відповідь (числове значення або певну формулу) або не зміг отримати правильної відповіді. В результаті на екрані мобільного пристрою учителя з'являться прізвища учнів, яким необхідно надати допомогу. Отримання цієї допомоги краще організувати методами кооперативного навчання.

5. *Опитування учнів з метою об'єднання в групи.* Використовуючи інтерактивні технології кооперативного навчання спільно з мобільними технологіями, учитель може швидко та цілеспрямовано об'єднувати учнів у пари (групи) так, щоб учні які не впорались із завданням (або виконали правильно лише частину завдання) опинились у парі (в групі) із більш успішними учнями. Інший варіант: якщо учні під час відповідей допускають типові помилки (обирають неправильну відповідь, наприклад, D), їх варто об'єднати в окрему групу D і запропонувати спрощений тип завдання, для подолання хибних уявлень про явище або фізичний закон. З цією метою досить зручно такі групи позначати літерами, яким відповідають неправильні варіанти відповідей (A, B, C, D). Під час фронтального опитування із застосуванням Plickers, на екрані смартфона з'являться прізвища учнів, що належать до певної групи (тобто, які обрали певну відповідь), а учителю залишиться лише об'єднати їх у групу — A, B, C чи D та запропонувати диференційовані завдання відповідного типу.

2. Google Apps for Education (G Suite).

Google Apps for Education — система сервісів, що забезпечують технологічну підтримку освітніх закладів та спираються на хмарні технології. Для реалізації цих хмарних сервісів у навчальному процесі учитель має скористатися набором програм — Classroom, Forms, Gmail, Drive, Calendar, Docs, Slides, Sheets, Hangout, Sites та інші.

Google Classroom (Google Клас) інтегрується із вище вказаними сервісами в межах хмарної технології. За допомогою Google Клас учитель здатен організувати навчальний процес через мережу Інтернет. Такий підхід має ряд суттєвих переваг і зокрема дозволяє:

учителю:

- створювати віртуальні класи;
- відправляти учням завдання;
- організувати обговорення проблемних питань, дослідів (після їх перегляду в YouTube) або підсумок теми;
- організувати індивідуальне заняття;
- перевірити роботу учня, виставити оцінку, написати коментар та зберегти усе це на панелі викладача;

учням:

- після отримання завдання через сервіс, виконати його в режимі онлайн в Google Документі та прикріпити свою роботу до завдання;
- звернутись до учителя із запитанням у будь-який час для отримання допомоги;
- брати участь в обговоренні тем, дискусіях, конференціях тощо.

Список усіх робіт учнів зберігаються і постійно оновлюються в панелі учителя та доступні учням для перегляду. Навчальні матеріали та документи зберігаються в структурованому вигляді у створених учителем каталогах на Google Drive (Google Диск), тому робота учителя, документи або презентації завжди доступні незалежно від того, який пристрій використовується.

2.2.3. Інтерактивні технології кооперативного навчання

Важливим чинником забезпечення якості освіти є компетентнісний підхід [138]. Згідно нового Стандарту передбачається вісім груп ключових компетентностей, окреслених у «Рекомендаціях Європейського Парламенту та Ради Європи», серед них — «математична компетентність та основні компетентності у

природничих науках» і «технологіях та уміння вчитися впродовж життя» [167, с. 11].

Як було показано вище, критичне мислення в межах певної технології навчання — наскрізне уміння, що визначатиме здатність учня в майбутньому успішно провадити професійну діяльність, зокрема й навчальну в нових умовах. З цією метою ключову компетентність «уміння вчитися впродовж життя» ми зкорелювали із здатністю до критичного мислення. Водночас критичне мислення як компетентнісно орієнтована технологія навчання дозволяє формувати компетентності на основі критичного мислення.

На сьогодні визнається, що одним з інструментів упровадження компетентнісного підходу в навчальний процес є зміщення акцентів із нагромадження фактів на розвиток «вмінь та навичок XXI століття» [370]. Досягти цього можна відійшовши від традиційних методик навчання, коли переважає знанєва парадигма, а учитель відіграє роль носія та транслятора знань. Натомість зміщення центру ваги на особистість суб'єкта навчання активізує його приховані потенційні можливості до навчання через інтеракцію з іншими суб'єктами навчального процесу, спілкування й обмін думками, через дискусію та діалог. Це можливо за умови впровадження, наприклад, інтерактивних методів кооперативного навчання. Підкреслимо, що інтерактивні технології — не єдиний напрямок вдосконалення навчання, що дозволяє як найшвидше покинути «єру академічного знання». Аналіз компетентнісно орієнтованих технологій навчання (а в подальшому й експериментальне навчання в ході педагогічного експерименту) переконали нас у тому, що через інтерактивні методи кооперативного навчання вдається найбільш оптимально реалізувати формування здатності учнів до критичного мислення як важливого уміння, що входить до ключової компетентності «уміння навчатися впродовж життя». Нижче буде розглянуто інтерактивні технології навчання в контексті формування відповідних компетентностей на основі критичного мислення в учнів старшої школи.

У педагогічній практиці накопичилась величезна кількість технологій навчання, які віддзеркалюють різні підходи та моделі навчального процесу [180, 184, 193, 244, 245]. Якщо ознакою класифікації цих підходів обрати рівень активності учнів, то їх можна умовно виокремити у три напрями — пасивний, активний та інтерактивні підходи [193]. Вказані групи відрізняються характером спільної діяльності учителя та учнів.

Пасивне навчання зумовлене використанням методів, у яких переважає навчальна діяльність, спрямована на пасивне засвоєння нової інформації — шкільна лекція, розповідь, пояснення. Основна дидактична мета тут полягає в передачі учням певного обсягу знань та перевірці його засвоєння під час фронтального опитування, коли учням пропонують питання на відтворення правил, законів, означень нових понять тощо. Закріплення нового навчального матеріалу здійснювалось також шляхом розв'язування переважно простих (тренувальних) фізичних задач, які не вимагають творчого мислення. В такій моделі навчання учень виступає «об'єктом» навчального процесу, який не впливає на цілі навчання, а його інтереси, досвід, ціннісні переконання не враховуються в принципі. Навпаки, учень мусить ламати свої світоглядні погляди, змінювати інтереси або намагатись пристосуватись і самотужки мотивувати вивчення нової інформації. Цілком закономірно, що здійснює він це єдиним доступним способом — через співставлення буденного знання із новим знанням, яке викладає учитель. Наші спостереження показали, що ознакою цього процесу (наявність його протікання) є характерні запитання, які учні ставлять перед учителем — прохання пояснити факт або уточнити механізм протікання певного явища (відомого учню, наприклад, із прочитаної книги, перегляду кінофільму або спостереження природних явищ тощо) з позицій наукової теорії, яку викладає учитель.

Вважається, що перша група спонукає до високої активності учнів шляхом використання учителем відповідних методів та методичних прийомів, що підпорядковані класно-урочній організації навчання. Класно-урочна організація навчання лише доповнювала концептуальні положення та визначала зовнішній бік організації навчального процесу, яким усі інші аспекти системи були підпорядковані. Ось деякі з них:

- авторитаризм викладання: авторитет учителя нерозривно об'єднаний із авторитетом знанєвої парадигми, яка виставляється на противагу свободі учня та заперечує демократичні цінності в навчанні, придушує атмосферу довіри і взаємоповаги між учителем й учнями (попри їх декларацію);
- суб'єкт-об'єктні відносини учителя й учнів;
- переважання в навчанні лише ідеалізованих цілей, які мають декларативний характер і дозволяють виключно вчителю обирати і обґрунтовувати цілі та завдання уроку;

- фрагментарна активність учня: «традиційні» методи навчання передбачають активну участь певної кількості учнів і майже ніколи — усіх учнів. Охопити увагою та активувати усіх учнів класу, - практично недосяжне завдання для учителя, до якого він може лише наближатися.

Підкреслимо, що повністю відмовитись від класно-урочної системи навчання не вдається в силу об'єктивних причин, наприклад, того факту, що вона найбільшу поширена у світі. Повна відмова від цієї системи неможлива, оскільки це тягне за собою необхідність докорінної заміни змістової компоненти методичної системи навчання, що не входило в завдання нашого дослідження.

Активне навчання передбачає застосування методів, що переводять учня до категорії «суб'єкту» навчання. До таких методів відносимо евристичні бесіди, розв'язування творчих завдань, демонстрацію та обговорення фізичних дослідів тощо. Під час фронтальних опитувань учитель ставить запитання, на які необхідно давати розгорнуту відповідь, логічно пояснювати або обґрунтовувати власну позицію тощо. Мета навчання залишається прерогативою учителя, але крім засвоєння знань планується розвивати в учнів здатність до фізичного стилю мислення, уміння творчо застосовувати набуті знання на практиці, уміння розв'язувати задачі із нестандартними умовами (творчі завдання) тощо.

Інтерактивне навчання можливе за спеціальної форми організації пізнавальної діяльності, яка орієнтована на постійну, активну взаємодію усіх учнів [193, с. 7]. Постійна та активна участь учнів досягається за рахунок “навчання у співпраці” та згідно з принципом “навчаємось навчаючи”. Учні взаємодіють не лише з учителем, а й між собою та виступають рівноправними суб'єктами навчального процесу під час дискусій, обміну новою інформацією, обговорення завдань, запропонованих учителем.

На думку О. Пометун, для успішної організації інтерактивного навчання важливо дотримання наступних умов:

- Організація навчального процесу як багатосторонньої комунікації в атмосфері партнерства.
- Позитивна психологічна атмосфера в учнівському колективі.
- Спеціальна організація навчального простору [192].

Розглянемо кожне положення окремо.

Організація навчального процесу як багатосторонньої комунікації в атмосфері партнерства. З шкільної практики відомо,

що спілкування між учнями для обміну інформацією є досить ефективним способом її засвоєння. Водночас багатостороння комунікація в учнівському колективі потребує від її учасників окремої підготовки — уміння уважно слухати, правильно відтворювати почуте, логічно викладати власне бачення шляхів розв'язку проблеми (застосовувати закони логіки), ставити запитання. Як показав вище проведений аналіз (п.2.2.1), усі ці якості також необхідні для опанування «мисленням вищого порядку» — критичним мисленням.

Водночас організація інтерактивного навчання потребує кооперації [193, с. 22]. Успіх групи залежить від кожного учасника, конкуренція між учасниками групи недоцільна. Недопустиме домінування однієї думки над іншими — усі учасники мають можливість вільно висловлювати власні думки, приймати продумані та відповідальні рішення, критично оцінювати представлені учителем або іншими учнями аргументи. Отже, організація інтерактивного навчання передбачає зокрема вирішення навчальної проблеми на основі аналізу обставин та відповідних аргументів, фактів, гіпотез. Це створює досить сприятливі методичні умови для розвитку критичного мислення під час вивчення фізичних теорій, відповідно до емпірично-індуктивної схеми, що розглядалась нами вище: *Проблема — Гіпотези — Раціональна критика — Вибір гіпотези — Раціональна критика нової теорії — Нова проблема*.

Позитивна психологічна атмосфера в учнівському колективі.

У методичній літературі описані численні технології для створення сприятливої психологічної атмосфери в класі [44, 192, 244, 300 та інші]. Головна мета таких «методик-криголамів» — створення «позитивної мотивації в наступній діяльності, взаємодія, розвиток спектру позитивних емоцій і почуттів стосовно процесу навчання і предмета, психологічне розвантаження учнів, згуртування колективу класу» [192, с. 38]. Проте вони мають два помітні недоліки: а) використання часу (20—45 хв, рідше до 7—10 хв); б) зазвичай покращення позитивної атмосфери — єдина дидактична мета, якої вдається досягти. Повторення раніше вивченого, перевірка домашнього завдання або актуалізація опорних знань учнів залишаються поза увагою учителя. Тому вказані методи краще проводити під час виховних заходів, факультативів тощо.

Проте, існує досвід використання методик, які на відміну від методів-криголамів дозволяють мотивувати клас, психологічно підготувати колектив класу до успішної навчальної діяльності і

водночас працювати із відповідним навчальним матеріалом. Наприклад, такі методи детально описані в праці Д. Лємова «Майстерність учителя» [132, с. 203—207].

З досвіду відомо, що зазвичай педагог пов'язує свою діяльність із певними очікуваннями — як позитивними, так і негативними. Дослідження в царині когнітивної психології підтверджують, що позитивні очікування учителя мають безпосередній вплив на результати навчання. Цей вплив має позитивний ефект навіть для тих учнів, що раніше показували низький рівень навчальних досягнень. Найбільш відомим дослідженням із перевірки гіпотези «ефект очікування експериментатора» є «Пігмаліон» [232]. Роберт Розенталь продемонстрував ефект очікування експериментатора в психологічному експерименті в лабораторних умовах, а потім провів аналогічний експеримент за межами лабораторії — в шкільних класах (який назвав «Пігмаліон»), продемонструвавши, що очікування учителя мають вплив на успішність учнів. Суть експерименту з виявлення ефекту очікування експериментатора полягала в наступному. В одному із досліджень (Rosenthal & Fode, 1963) студенти-психологи навчального та підготовчих курсів отримали завдання з проведення дослідів з лабораторними пацюками — на проходження лабіринту. Частині студентів повідомляли, що вони будуть працювати зі спеціально виведеною породою пацюків, які мають підвищені здібності до проходження лабіринту. Іншій групі студентів казали, що вони працюватимуть із звичайними пацюками. Обидві групи студентів не знали, що вони приймають участь в експерименті і обом групам давали для роботи звичайних пацюків, випадковим чином відібраних із загалу. Студенти, яких наперед повідомили, що вони мають справу із «обдарованими» пацюками, навчили своїх підопічних тваринок значно швидше, ніж ті, хто вважав, що працює із «звичайними» пацюками. Насправді усім студентам для експерименту були представлені звичайні пацюки. Таким чином, Розенталь науково обґрунтував наявність ефекту очікування експериментатора — «що очікуєш, те і отримаєш» [376]. У зв'язку з цим, у наукових дослідженнях застосовується метод маскуванню — *double-blind method*, коли експериментатор, який контактує з піддослідним, нічого не знає про гіпотези, що перевіряються.

Розенталь припустив, що ефект очікування може бути помітним в навчанні, оскільки очікування учителя (як позитивні, так і негативні) можуть впливати на успішність учня подібно до того, як

експериментатор впливає на результати експерименту, очікуючи підтвердження гіпотези. Таке припущення ґрунтувалося на існуванні ефекту очікування в міжособистісних стосунках за межами дослідницької лабораторії. Розенталь запропонував називати його ефектом Пігмаліон (the Pigmalion effect) [377]. Для перевірки гіпотези, дослідження проводились в 1—6 класах початкової школи Oak School. Спочатку учні пройшли IQ-тестування за допомогою невербального тесту (the Testes of General Ability (TOGA)), оскільки його результати не залежать від отриманих в школі навичок читання, письма та арифметичного підрахунку. Учителів не ознайомили з результатами цього тесту, натомість повідомили, що учні пройшли перевірку за Гарвардським тестом на очікування у просуванні в навчанні (Harvard Test of Inflected Acquisition). Усім учителям було надано прізвища учнів, які отримали високі бали буцімто за Гарвардським тестом, тому вони вважали, що саме ці учні на кінець навчального року продемонструють високі результати. Насправді, учнів для списків із високим балом відібрали випадковим чином. Різниця між експериментальною та контрольною групами полягала лише в тому, що від першої учителі очікували на кінець навчального року високих інтелектуальних результатів [232, с.160].

Діаграма 1. Приріст балів за показником IQ: 1—6 класи (Rosental R. & Jakobson L. 1968 [377]).

На кінець навчального року учні знову пройшли тест the TOGA і отримані результати підтвердили гіпотезу Розенталя про ефект Пігмаліон: учні, від яких учителі очікували більш високих результатів в інтелектуальному зростанні, в середньому показали помітно вищий приріст IQ, ніж діти із контрольної групи (12,2 і 8,2 бали відповідно)

[377].

З діаграми 1 видно, що спостережуваний ефект добре проявився в учнів молодших класів і практично відсутній у старших учнів (5 і 6 класи). Для пояснення таких результатів Розенталь і Джекобсон сформулювали наступні причини [232, с. 83]:

1. Молодші школярі більшою мірою схильні до змін, піддаються їм.
2. Учителі зазвичай уже мають завершене враження про учнів 5—6 класів, натомість учні молодших класів можуть проявити несподівані здібності. Інакше кажучи, якщо учителі не мали можливості скласти думку про учнів, то очікування, створені дослідниками, були б більш вагомими.
3. Молодші школярі більш сприйнятливі до невловимих та ненавмисних дій учителя, які у такий спосіб передають учням свої очікування.
4. Учителі молодших класів можуть відрізнитися від учителів старших класів манерою спілкування з учнями, яка призводить до більш інтенсивної передачі учительських очікувань. Проте, Розенталь і Джекобсон не робили припущень, до чого ці відмінності могли б призвести, якби вони існували насправді [377, с.164].

На підставі проведеного аналізу викладених вище досліджень, ми прийшли до наступних висновків. Інтерактивне навчання включає постійну активну діяльність учнів і її успішність залежить не лише від підготовленості учнів, але й від позитивної психологічної атмосфери класного колективу загалом, а також окремих учнів. Дослідження «Пігмаліон» дозволяють стверджувати, що важливу роль тут відіграватимуть позитивні очікування учителя. Проблема загострюється ще й тим, що учні старшої школи знають про сформовані негативні уявлення про них в учителів. Тому вкрай важливо учителю проводити бесіди із учнями з метою підтримання відповідного психологічного клімату в колективі класу.

Спираючись на наведені вище результати досліджень, у межах розроблюваної нами методичної системи навчання квантової фізики в старшій школі, учителям пропонувались наступні методичні рекомендації:

1. Учителю слід постійно аналізувати власну діяльність на відповідність стилю викладання, дидактичних цілей, методів викладання навчального матеріалу до власних та

учнівських позитивних очікувань.

2. Учителю варто «забувати» про невдачі та негативні результати учнів з минулих років навчання і завжди бути готовим до сприйняття нових позитивних навчальних досягнень учнів. Проведені нами бесіди з учителями показали, що вже після першого навчального року роботи учителя з класом, у нього складається стійка «характеристика-вирок» для кожного учня. Такий стан, зазвичай, є досить сильним гальмувальним фактором для успішної навчальної діяльності учнів. І навпаки, постійна підтримка «відмінників» поряд із критикою «відстаючих» учнів створює напруження в класному колективі і почасти знижує ефект від інтерактивних уроків, оскільки така психологічна атмосфера не сприяє плідній праці в групах або парах.
3. Наші спостереження за навчальним процесом, переконують, що інтерактивні технології кооперативного навчання мають значний потенціал щодо подолання негативних очікувань і водночас дозволяють підвищити позитивні очікування. У цьому сенсі інтерактивні методики можуть розглядатися як інструментарій із підвищення позитивних очікувань як учителя, так і кожного учня. Працюючи в групі або в парі, учень досягає успіху разом із групою і отримує звершення очікуваного позитивного прогнозу від учителя навіть за умови виконання не ключової ролі, а відтак має нагоду переконатися у власній успішності. Демонструючи учителю свою успішну роботу в складі успішної групи, учень ніби надихає його на відповідні очікування. Це один з ключових моментів, який пояснює надзвичайно високу ефективність інтерактивних методик.

Спеціальна організація навчального простору.

У середній школі давно реалізована ідея організації навчального простору через створення кабінетів із різних навчальних предметів, зокрема з фізики. Спеціальна організація навчального простору для інтерактивного навчання передбачає також зміну розташування положення учнів і педагога: розстановка учнівських парт у формі літери «П», у формі «прямокутника» та «колом», «дискусійний клуб» (малими групами) [192, 300]. Це дає ряд суттєвих переваг: відсутність бар'єрів між педагогом та учнями, усі учні бачать один одного тощо.

Проте існують й недоліки: деякі з наведених розташувань учнівських місць не дозволяють учителю швидко та вільно наблизитись до окремих учнів, щоб надати індивідуальні консультації. Особливо це помітно, якщо урок супроводжуватиметься демонстрацією фізичних дослідів учителем або за умови, коли учням необхідно провести фронтальний експеримент. У теорії та методиці навчання фізики усталеною є думка про те, що обладнання кабінету фізики та розташування учнівських парт та меблів визначається: а) системою сучасного шкільного фізичного експерименту; б) сукупністю методів і технологій навчання, які застосовуються в навчанні фізиці. Отже, при застосуванні інтерактивних методів навчання слід враховувати наявність шкільного фізичного експерименту, як важливої складової методичної системи навчання фізики в середній загальноосвітній школі.

Таким чином, аналіз особливостей організації інтерактивного навчання, дозволяє зробити наступні висновки. Застосовуючи інші технології навчання разом із інтерактивним методами, перевагу необхідно надавати саме тим, що не обмежують вільне пересування або розташування учнів у класі. Наприклад, доцільно замінити ІКТ із застосуванням стаціонарних комп'ютерів на ІКТ, що засновано на застосуванні мобільних пристроїв (ноутбуки, планшетні комп'ютери, смартфони тощо). Водночас не усі інтерактивні методики доцільно використовувати на уроках фізики. Критерієм відбору, на наш погляд, є два фактори: а) сумісність інтерактивного методу із системою шкільного фізичного експерименту; б) відповідність інтерактивної технології до методів навчання, які характерні саме для викладання фізики і склалися історично — розв'язування задач, проведення демонстраційних дослідів, фронтальних лабораторних робіт та ін. З іншого боку, оскільки виникла необхідність об'єднання технологій критичного мислення та інтерактивних технологій кооперативного навчання, ще одним важливим критерієм для відбору останніх є дидактична відповідність цих методів основній меті — формуванню у старшокласників навичок критичного мислення. Врахування цієї відповідності обумовлено особливостями формування критичного мислення. Для того, щоб виробити критерії для відбору інтерактивних методів, звернемо увагу на методичні особливості формування критичного мислення, на які вказують його дослідники та фахівці:

- у навчальному процесі використовуються завдання, розв'язання

яких потребує *мислення вищого рівня*. Мисленням вищого рівня вважається таке, що здатне відповісти на запитання високого рівня — «це запитання, які ми ставимо, коли цікавимося, як чи чому щось відбувалось або яким чином одна подія, факт чи ідея можуть бути пов'язані з іншими. Ці запитання формулюються в такий спосіб, щоби змусити того, хто на них відповідає, критично мислити» [300, с. 15]. Таке означення цього поняття є дещо спрощеним і несповна чітким. Для старшокласників більш придатним, на наш погляд, буде підхід, коли мисленням високого рівня будемо називати таким, що підкоряється певним нормам, критеріям (законам) [300]. Зазвичай до таких законів відносять закони логіки: закон тотожності, закон несуперечності, закон виключення третього і закон достатньої підстави;

- навчальний процес обов'язково організований як дослідження учнями певної теми, що виконується шляхом інтерактивної взаємодії між ними;
- результатом навчання є вироблення власних суджень;
- учителі та учні несуть спільну відповідальність за психологічний клімат на занятті;
- учителі демонструють як можна мислити критично: формулюють свої думки обґрунтовано, звертають увагу учнів на певні умови та заохочують учнів поважати точку зору, що не співпадає з власною;
- учням надається підтримка дозовано, так, щоб учень сам досягав необхідних результатів;
- використання запитань як інструментарію критичного мислення та вирішення проблем.

Остання теза вимагає досить серйозно поставитись до методики постановки запитань. Це пов'язано з тим, що на думку більшості дослідників критичного мислення, уроки з критичного мислення необхідно реструктурувати [300, с.14]. Результатом цього є широке використання навчальних дискусій, які виникають серед учнів та між учнями й учителем. Особливість цих дискусій — жвавість, коректність, насиченість обміном аргументами, керованість з боку учителя. Учитель, зазвичай, керує дискусією через постановку різних запитань. Також ставлячи запитання, він навчає учнів цьому мистецтву і дає приклад, як слід це робити.

Д. Халперн відзначає, що дослідники Палінсар і Браун (Palincsar Brown, 1984) з'ясували, що коли студентів просили ставити своїм

товаришам допоміжні запитання, вони розуміли новий навчальний матеріал краще, ніж студенти із контрольної групи, котрі таких запитань не задавали [314, с. 235]. Отже, виявляється дуже важливим, які саме запитання будуть ставити учні й учитель. У рамках технології розвитку критичного мислення існують різні класифікації запитань. Аналіз показує, що існує умовно два підходи. Перший підхід жорстко детермінує запитання та цілі викладання. Ставляться запитання, мета яких задіяти відповідний рівень мислення в учнів, а відтак досягти конкретну дидактичну мету.

У 1956 році Бенджамін Блум, професор Чикагського університету (США), запропонував багаторівневу структуру розумової діяльності учнів [344]. Запропонована ним класифікація (таксономія), пов'язана із різними за складністю рівнями мислення, які дозволяють з'ясувати сформованість в учнів здатностей до творчого та критичного мислення та гарантують досягнення відповідної мети навчання. Блум виокремив шість таких рівнів: знання, розуміння, використання, аналіз, синтез та оцінювання. Формулюючи запитання відповідного рівня, учитель, за Блумом, ніби «включає» один із шести рівнів мислення. Так, ставлячи запитання, що відповідає базовому рівню, учитель перевіряє учня на знання фактів, подій, правил, принципів або законів. Відповідаючи на таке запитання, учень лише відтворює відому йому інформацію. Для базового рівня характерні запитання на кшталт: «хто?» «що?» «як?» «де?» «описати», «дати означення», «вибрати». Другий рівень — запитання, що вимагають розуміння та інтерпретацію відомої інформації. Відповідаючи на цей тип запитань, учень повинен описати, класифікувати, виразити, перефразувати. Отже, має вищий рівень мислення, який відповідає не простому відтворенню, а розумінню отриманої раніше інформації. Наприклад, «переказати своїми словами», «що це означає?», «навести приклад», «що можна очікувати?» та ін. Третій рівень — запитання, які вимагають від учня уміння перетворювати факти або певні відповіді з одних умов на інші. Відповідь на третій тип запитань має залучити учня до такої розумової діяльності: застосовувати знання, обирати, інтерпретувати, модифікувати, використовувати знання для розв'язання проблеми. Питаннями третього рівня можуть бути такі: «спрогнозувати», «які були б результати...», «сказати, що трапилося б» та ін. Четвертий рівень — запитання, які вимагають від учня ідентифікувати частини та встановити між ними співвідношення. Питання четвертого рівня залучають учня до наступної розумової

діяльності: проаналізувати, виділити категорії, піддати критиці, диференціювати. Наприклад, «розрізнити», «які припущення?», «які висновки?», «під цим твердженням мається на увазі», «в чому несумісність, оманливість?», «що саме автор підкреслює?», «встановити, які думки належать?». П'ятий рівень — запитання, які відповідають операції синтезу, складання частин разом, щоб сформулювати єдине ціле. Для цього рівня характерним є мислення щодо таких розумових дій: класифікувати та зібрати окремі частини разом, скомпонувати, схематизувати, винайти, розвинути, висунути гіпотезу, розробити, планувати, підтримати. До питань п'ятого рівня можна віднести наступні: «як би ви перевірили?», «запропонуйте альтернативу», «вирішіть проблему», «сплануйте» тощо. Шостий рівень передбачає постановку запитань, які дозволяють виявити цінності або використати вже відомі (раніше встановлені) критерії. Ставлячи запитання шостого рівня, учитель спонукає учнів до наступних розумових дій: провести оцінювання, дати оцінку, довести, оцінити, порівняти з критеріями, обрати, порівняти, критикувати, відстояти (думку), передбачити. Можливі варіанти запитань: «які невідповідності, суперечності з'являються ... ?», «що більш важливе, цінне, логічне ...?», «знайти помилки», «порівняти».

Згодом, таксономія Блума набула розвитку у працях дослідників, які вивчають і викладають критичне мислення і які її вдосконалили, наблизивши до практичних потреб школи. Наприклад, Л. Андерсон та Д. Красволл додали рівень «створення» та вилучили «синтез» [343]. За Андерсоном таксономія цілей набуває наступного вигляду: запам'ятовування, розуміння, застосування, аналізування, оцінювання, створення. Вказана таксономія Андерсона є найбільш вживаною в шкільній практиці.

І. Загашев шість типів запитань згідно таксономії Блума представляє як «ромашку запитань»:

- прості запитання, у яких йдеться про факти і деталі. Це питання, відповіді на які дають можливість дізнатися про конкретні факти;
- уточнювальні запитання — мета цих запитань перевірка отриманої інформації;
- інтерпретаційні (пояснювальні) запитання — запитання, які починаються зі слова «чому» та дозволяють отримувати розгорнуту інформацію про об'єкт. Відповідаючи на такі запитання можна отримати нові ідеї, по-іншому поглянути на

вже відомі факти;

- творчі запитання — це питання, в формулюванні яких присутні елементи певних допущень, здогадки, припущення, прогнози. Їх можна ставити, коли потрібні креативні рішення та нові ідеї. Вони зазвичай розпочинаються зі слів: «Що буде, якщо ...?»
- оцінювальні запитання — дозволяють дати максимально точну оцінку подіям, фактам. Ці питання є найкращим інструментарієм для вибору найбільш ефективних ідей та варіантів вирішення проблеми. Розпочинаються зі слова «Чому ...?».
- практичні запитання — встановлюють зв'язок між теоретичними міркуваннями та практикою. Вони дозволяють об'єктивно та неупереджено оцінити ситуацію та ступінь реальності ваших планів, побачити проблему ніби з боку [89, с.72—78].

Другий підхід у постановці запитань орієнтований на методику навчання учнів (студентів) навичкам «випитування», тобто умінню через постановку запитань отримувати нову інформацію від співрозмовника (опонента) та критично її переосмислювати. Найбільш показовою у цьому сенсі є таксономія сократівських запитань.

Сократова таксономія передбачає шість класів запитань, які необхідно використовувати під час діалогічних дискусій [371, с. 276]:

- питання пояснення (уточнення): «що ви розумієте під ...?» «наведіть приклад», «чи не могли б ви розповісти про це детальніше?» та ін.
- питання для вивчення припущень: «у чому полягають ваші припущення?», «на яких ідеях базуються ваші міркування?», «чому ви вважаєте, що дане припущення можна тут застосувати?» та ін.
- питання для дослідження обґрунтувань та доведень: «чи дійсно наведені обґрунтування адекватні (достатні)?», «звідки вам це відомо?», «у вас є докази для такого твердження?», «яка ще інформація вам потрібна?», «щоб ви відповіли тому, хто сказав би, що ...?», «як ми можемо з'ясувати, що це вірно?» та ін.
- питання про точки зору: «здається, що ви розглядаєте це саме під таким ракурсом. Чому ви обрали саме таку точку зору?», «які альтернативи?» «щоб ви відповіли, якби вам заперечили?», «про що думає той, хто вважає, що ...?» і т.д.
- питання для вивчення висновків та наслідків: «що ви розумієте

під цим?», «коли говориш ... , то маєш на увазі ... ?», «до яких результатів це мало б призвести?», «якщо це вірно, то що ще має бути істинним?», «якби таке трапилось, то що ще зрештою мало б відбутись? Чому?» та ін.

- питання про питання: «як ми можемо це з'ясувати?», «що розуміється під цим питанням?», «чи дійсно це та ж проблема, що й ... ?», «чому це питання важливе?», «чи можна це запитання сформулювати інакше?», «чи можна погодитись, що це складає зміст питання?» та ін.

Сократівське випитування пов'язане із діалогічною (або сократовою) дискусією. Цей тип опитування дозволяє розвивати та оцінювати власне мислення у порівнянні з мисленням інших учнів (студентів). Учні відповідають на сократові запитання із власних точок зору, тому таке обговорення неминуче стає багатомірним [371, с. 251]. Постійна постановка запитань навколо центральних ідей, які вивчаються, дозволяє висловлювати стосовно цих ідей різні точки зору та різні думки, що призводить до їх глибокого розгляду та всебічного вивчення. Р. Поль відзначає, що сократова дискусія навчає її учасників дотримуватися інтелектуальної дисципліни та ґрунтовності, привчає цінувати силу логіки та логічного мислення.

Базисом сократівської дискусії є уявлення про те, що будь-які ідеї або теорії можна дослідити (проаналізувати) за чотирма напрямками:

1. Походження ідей:

- Як ти додумався до цієї ідеї?
- За яких обставин були сформульовані ці ідеї?

2. На що спираються ідеї:

- Чому ти віриш в це?
- Чи є в тебе які-небудь підтвердження для цього?
- Які ще існують причини, через які люди вірять в це?
- Чи не допускаєш ти, що висловлюючи впевненість у певних положеннях, інші положення істинні?
- Як ти вважаєш, це загалом вірне припущення?

3. Їх протиріччя з іншими ідеями та думками:

- Дехто може заперечити тобі, сказавши Як би ти відповів?
- Що ти думаєш із приводу їх протилежної точки зору?
- Як би ти відповів на заперечення, що ... ?

4. Їх висновки і наслідки:

- До яких практичних наслідків призводить це переконання?

- Що нам потрібно зробити для того, щоб здійснити це?
- Що впливає із точки зору, що ... ?
- Чи не повинні ми також вважати, що ... , щоб не входити в протиріччя?
- Ти маєш на увазі, що ... ?

Ще одним цікавим підходом, що використовується як цілеспрямоване «випитування», є методичний прийом «7W». Суть його полягає в тому, що учитель ставить підряд запитання типу «Чому?», «Для чого?», «З якої причини?» (в англійській мові такі слова починаються з літери «W»). Важлива умова — відповіді учнів не повинні повторюватись. Наприклад, прийом «7W» може мати таку реалізацію:

1. Учитель: *чому* ми не провалюємось крізь підлогу?

Учень: ми не провалюємось крізь підлогу, оскільки з боку підлоги на нас діє реакція опори.

2. Учитель: *чому* на нас з боку підлоги діє реакція опори?

Учень: реакція опори — сила пружності.

3. Учитель: *чому* з боку підлоги діє сила пружності?

Учень: оскільки підлога деформована, виникає сила пружності.

4. Учитель: *чому* ж підлога лише деформується, а не розпадається на окремі частини?

Учень: тому що між молекулами речовини матеріалу підлоги діють сили міжмолекулярної взаємодії. Молекули притягуються одна до одної і підлога деформується, проте залишається цілою.

5. Учитель: *чому* між молекулами підлоги діють сили міжмолекулярної взаємодії?

Учень: природа цих сил — електромагнітна взаємодія, яка виникає між молекулами.

6. Учитель: *чому* сили міжмолекулярної взаємодії за природою електромагнітні сили?

Учень: мабуть тому, що складаються з атомів або йонів. Атоми у своєму складі мають заряджені частинки — електрони та протони, між якими діють кулонівські сили.

7. Учитель: отже, завдячуючи саме кулонівським силам, ми не провалюємось крізь підлогу.

Учитель може продовжувати й далі ставити запитання «Чому?» до тих пір поки не отримає відповідь, яка йому потрібна (в наведеному вище прикладі можна зануритись на рівень квантової механіки, щоб пояснити обмінний механізм електромагнітної

взаємодії). Слід зауважити, що цей прийом працює за умови дотримання певних умов: учні мають бути обізнані з теми, яка обговорюється, інакше учитель отримає відповідь «не знаю». Також учитель не повинен так ставити запитання, щоб учні відчували тиск з його боку, інакше це буде сприйматись ними як агресивне до них ставлення. Прийом «7W» може успішно використовуватись під час актуалізації опорних знань учнів при вивченні нового навчального матеріалу. Наведений приклад обраний навмисно так, щоб показати, що за допомогою «7W» можна пов'язувати в одне ціле різні теми і розглядати їх у тісному взаємозв'язку. Це особливо важливо при вивченні теорії будови речовини, зокрема квантової теорії, коли спираючись на цю теорію можна пояснити деякі питання, які з точки зору класичної фізики не мають чіткого і завершеного пояснення.

Д. Халперн [314, с. 140] відзначає наступну класифікацію запитань за ознакою визначення типу мисленнєвої діяльності:

1. Застосування («Наведіть приклад ...?», «Яким чином можна ...?» та інші).
2. Висунення гіпотез («Що трапиться, якщо ...?»).
3. Аналіз («У чому сильні і слабкі сторони ...?», «Що розуміють під ...?»).
4. Ідентифікація та створення аналогій і метафор («На що схоже ...?»).
5. Активізація раніше набутих знань («Що ми вже знаємо про ...?»).
6. Активізація причинно-наслідкових зв'язків («Яким чином ... впливає на ...?»).
7. Порівняльний аналіз («В чому різниця між ... і ...?»).
8. Порівняння на протиставленні («Порівняйте ... і ... на підставі ...»).
9. Застосування на практиці в реальних умовах («Як можна застосувати ...?»).
10. Висунення контраргументу («Який аргумент можна навести проти ...?»).
11. Оцінка та її аргументація («Який ... є кращим і чому?»).
12. Синтез ідей («Якими можуть бути можливі розв'язки задачі?», «Який план розв'язку задачі?»).
13. Розгляд інших точок зору («Як, на вашу думку, поглянув би ... на це питання ...?»).

На підставі проведеного вище аналізу, нами було обрано наступні

критерії, за якими здійснювався відбір інтерактивних методик кооперативного навчання для уроків фізики з розвитку критичного мислення:

1. Сумісність інтерактивного методу із системою шкільного фізичного експерименту в сенсі методики та техніки проведення демонстраційних дослідів, фронтальних експериментів тощо.
2. Відповідність інтерактивної технології до методів навчання, які характерні саме для викладання фізики, що склалися історично — розв'язування задач, проведення демонстраційних дослідів, фронтальних лабораторних робіт та ін.
3. Надання переваги тим інтерактивним методам, що дозволяють широко застосовувати різноманітні методики «випитування», а також застосування різних таксономій системи запитань.

Також було враховано класифікацію інтерактивних технологій навчання, запропоновану О.І. Пометун та Л.В. Пироженко. Вказана класифікація, на наш погляд, є досить вдалою, оскільки за ознаку класифікації прийнято мету уроку та форми організації навчальної діяльності учнів:

- Інтерактивні технології кооперативного навчання.
- Інтерактивні технології колективно-групового навчання.
- Технології ситуативного моделювання.
- Технології опрацювання дискусійних питань [193, с. 27].

Нижче наведемо інтерактивні технології, що пройшли відбір через вказані вище три критерії. Переважно це інтерактивні технології кооперативного навчання, інтерактивні технології колективно-групового навчання та технології опрацювання дискусійних питань.

Інтерактивні технології навчання будемо описувати за наступними опціями:

1. Опис та обґрунтування доцільності методу.
2. На якому етапі уроку використовується,
3. Необхідні ресурси (розмір групи, необхідний час, обладнання або дидактичні матеріали), хід роботи.
4. Мета застосування технології.

I. «Структурований огляд» (Ausubel, 1973).

1. Структурований огляд — це коротка доповідь учителя, покликана розбудити інтерес в учнів до основної теми уроку. Основна ідея цього методу — поєднання вступного слова учителя із актуалізацією знань учнів та підвищення інтересу до предмету вивчення. Під час

структурованого огляду учитель коротко описує те, що вже відомо, ставить запитання, щоб залучити учнів до засвоєння нового навчального матеріалу.

2. Зазвичай використовується на початку уроку під час актуалізації знань учнів.

3. Розмір групи — від шести до тридцяти учнів. Необхідний час: до 5 хвилин. Спеціального обладнання даний метод не потребує, проте може бути використаний як методичний прийом до наочних методів навчання — демонстрація відеофрагментів, демонстраційних дослідів або під час обговорення результатів фронтального експерименту.

4. Викликати інтерес в учнів, очікування дізнатися нове, отримати новий досвід.

II. Робота в парах.

1. Найбільш поширена технологія організації інтерактивного навчання, яку зручно застосовувати на початковому етапі застосування інтерактивних технологій.

2. Може застосовуватись на усіх етапах уроку.

3. Розмір групи — від чотирьох до тридцяти учнів. Необхідний час: до 10 хв. Працюючи в парах, учні мають час на обдумування та обговорення різних варіантів відповідей, тому роботу в парах добре поєднувати із методом евристичної бесіди, структурованим оглядом, після або до демонстрації дослідів, проведення фронтального експерименту, при підготовці або під час дискусії. Робота в парах може також розглядатися як підготовчий етап до роботи в групах, який допомагає розвинути в учнів комунікативні вміння та навички [193]. Враховуючи доступність цього виду інтерактивних технологій, існує багато модифікацій роботи в парах. Наприклад, «Мозковий штурм у парах» (De Bono, 1973), «Читання в парах — узагальнення в парах» (Vaughn, 1986), «Два — чотири — усі разом», «Думати, працювати в парі, обмінятися думками», «Один проти одного», «Один — вдвох — всі разом» [193, 192, 300].

4. Коло дидактичних цілей, які переслідує учитель при застосуванні технологій, заснованих на роботі в парах, може бути досить широким — від актуалізації опорних знань учнів до узагальнення та закріплення набутих знань або умінь.

III. «Акваріум».

1. Один з відомих варіантів кооперативного навчання, що відноситься до роботи в малих групах. Акваріум застосовують в тих випадках, коли слід вирішувати складні проблеми, що потребують колективного

розуму, а також коли завдання вимагає не індивідуальної, а спільної роботи учнів класу [193, с. 30].

2. Застосовується переважно на етапі вивчення нового навчального матеріалу.

3. Розмір групи — від 12—15 до 40 учнів. Необхідний час — від 25 до 45 хв.

Цей метод вимагає від учнів вести дискусії в малих групах, тому краще, якщо учні мають досвід застосування комунікативних умінь у групах або в парах. Клас об'єднують у групи по 4—6 осіб та формулюють завдання (фізичну навчальну задачу, експериментальну задачу тощо). Група в голос обговорює та намагається протягом 5—7 хв вирішити проблемну ситуацію або розв'язати фізичну задачу, підготувати або спланувати фізичний експеримент (або уявний дослід), висунути гіпотезу, спираючись на факти, що викладені у завданні учителем. Усі інші учні класу спостерігають за дискусією та занотовують свої думки, керуючись такими запитаннями (які учитель готує заздалегідь):

- Чи погоджуєтесь ви з висновком (гіпотезою або розв'язком задачі) групи?
- Які контраргументи можна навести на представлений висновок (гіпотезу, розв'язок)?
- Який з аргументів ви вважаєте найбільш переконливим?

Протягом 35 хв за наведеними питаннями учитель проводить бесіду, потім місце в «Акваріумі» займає інша група й обговорює наступну проблему або продовжує розв'язок попередньої задачі. На завершення учитель оголошує висновки, коментує результати отримані кожною групою та вносить уточнення щодо отриманих результатів.

4. Метою застосування цієї інтерактивної технології є підвищення рівня володіння учнями навичок ведення дискусії, наприклад, сократової дискусії, уміння проводити критичне «випитування» та ні.

IV. «Знаємо — Хочемо дізнатися — Дізналися».

1. Належить до групи інтерактивних технологій, що передбачають фронтальну роботу класу.

2. Застосовується на усіх етапах уроку (протягом усього уроку).

3. Розмір групи — від 3—5 до 40 учнів. Необхідний час — 45 хв.

Цей метод дозволяє нагадати учням про те, що вони знають, і сформулювати запитання, котрі допомагають спрямувати їхній пошук для кращого розуміння цієї теми [193, с. 29]. Учитель на дошці заздалегідь готує таблицю:

Що знаємо?	Про що хочемо дізнатися?	Про що дізналися?

Під час актуалізації опорних знань учнів, заповнюють перший стовпчик «Що знаємо?». Далі, під час бесіди або роботи учнів в парах, заповнюють стовпчик «Про що хочемо дізнатися?». Після викладу нового навчального матеріалу в ході закріплення вивченого та підведення підсумків, учитель разом з учнями заповнює стовпчик «Про що дізналися?».

4. Метою цієї технології є чітка організація навчальної діяльності учнів з тим, щоб спрямувати зусилля усього класу на вирішення навчальних завдань, запланованих учителем.

V. Пошук запитань.

1. «Пошук запитань» (Pearce, 1999, 2003) — передбачає фронтальну роботу класу.

2. Застосовується на усіх етапах уроку (протягом усього уроку).

3. Розмір групи від 5 до 30 учнів.

Цей метод передбачає вісім кроків: демонстрація предметів; обрання кожною групою учнів певного предмету; опис предметів (їх малювання в зошитах); формулювання запитань стосовно предметів; фронтальне обговорення: учні демонструють малюнки предметів та придумані ними запитання; учні разом із учителем обирають запитання, які *потребують перевірки*; учитель перед учнями ставить запитання, які спонукають їх до обдумування можливих варіантів із перевірки запитань; введення учителем інших формулювань запитань, що потребують перевірки [300, с. 38].

4. Метою технології є навчання учнів формулювати запитання, що потребують перевірки. Цей підхід привчає учнів до того, що будь-які судження повинні мати достатні підстави, зокрема експериментальне підтвердження (відповідно до закону логіки «закону достатньої підстави»). Таким чином, в учнів формуються навички «мислення вищого рівня», тобто такого мислення, що відповідає певним критеріям (правилам, законам).

2.3. Технологія змішаного навчання

У рамках пропонованої методичної системи навчання квантової фізики розглянуті вище компетентісно орієнтовані технології

навчання ми інтегруємо в одну технологію, як технологію змішаного навчання.

Змішане навчання (blended learning) — сучасна освітня технологія, що базується на інтеграції класно-урочної системи та технології електронного навчання (e-learning).

Вчені Стенфордського університету здійснили аналіз близько тисячі експериментальних даних, які є результатами порівняльних досліджень традиційного, онлайн та змішаного навчання [365]. У результаті з'ясовано, що у період з 1996—2008 р.р. онлайн навчання не мало переваг над традиційним, в той час як змішане навчання виявилось помітно ефективнішим, ніж навчання за технологіями e-learning. Вказане дослідження стало приводом до більш оптимістичних прогнозів щодо застосування змішаного навчання. Оскільки до розроблюваної методичної системи нами залучено технологію мобільного навчання, то очевидним є його впровадження в контексті саме змішаного навчання.

Зазвичай навчальний процес при змішаному навчанні складається із фаз традиційного та електронного навчання, які чергуються. Як приклад, автори [360] наводять схему змішаного навчання, що використовується в бізнес-тренінгах:

1. Підготовчий етап (Prepare Me): e-mail, інформаційні листи, організаційні зустрічі, ввідні інструктажі, короткий огляд курсу, відеоматеріали, огляд технологій, інструктаж з засобів навігації.
2. Інформаційний етап (Tell Me): концептуальні презентації в аудиторії; лекції та семінари в аудиторії тощо.
3. Демонстраційний етап (Show Me): демонстрація реальних та імітаційних систем; віртуальні семінари та ін.
4. Практичний етап (Let Me): експерименти; емпіричний пошук рішень за допомогою імітаційних систем; практичні навчання по теорії задач в аудиторії, які напередодні досліджені експериментально.
5. Виконання практичних завдань, виконання роботи (Help Me): постійний доступ до порталу, допомога під час вивчення окремих питань, FAQ, on-line help, методичні рекомендації, підтримка тьютором об'єктів навчання, зокрема на мобільних пристроях.

Введення у навчальний процес змішаного навчання дозволяє

досягати наступні цілі, які пов'язані з особливостями та перевагами мобільного навчання:

- збільшити доступність та гнучкість навчального процесу;
- персоналізувати навчальний процес для кожного учня через врахування індивідуальних освітніх потреб, інтересів, нахилів, темпу засвоєння нової інформації тощо;
- підвищити навчальну мотивацію, соціальну активність у засвоєнні нового навчального матеріалу, рефлексію;
- заміна знанєвої парадигми на інтерактивну взаємодію педагога та учня, коли останній конструює власну навчальну траєкторію;

Для того, щоб реалізувати окреслені вище цілі та підходи, необхідно залучити до змішаного навчання відповідні теорії (або теорію) навчання. На основі теорії навчання виробляються моделі, які можна реалізувати в рамках відповідних методичних систем навчання.

В основу сучасної концепції змішаного навчання покладено біхевіористичну теорію, яка виникла в результаті перенесення ідей біхевіоризму в педагогіку. Під час фази електронного навчання зазвичай вводять тестову перевірку знань для реалізації схеми «Ситуація — Реакція — Підкріплення». Тестове завдання складають у формі ситуації, яку учень розв'язує (реакція), а учитель створює підкріплення. Підкріплення може бути у формі подання нової порції інформації, надання підказки, переведення на вищий рівень із можливістю отримати вищий бал тощо.

Аналіз досліджень зарубіжних вчених та фахівців із змішаного навчання [312, 366, 375, 385 та ін.] свідчить, що функціонально його реалізація може відбуватися в кількох аспектах. Наприклад, А.С. Фоміна вказує, що в системі змішаного навчання як сукупності елементів, об'єднаних для виконання певних функцій освітнього процесу, на перший план постають наступні аспекти [312, с. 2]:

- інституціональний,
- технологічний (в тому числі в аспекті управління),
- навчально-методичний.

Перший передбачає організацію стратегії електронного навчання в інтеграції із класно-урочним навчанням. Головним напрямком цієї стратегії є уявлення про те, що електронне навчання (e-learning) — це нова парадигма освітніх систем. Переваги електронного навчання як

технології навчання: задовольняє потребам учнів, які живуть в цифровому світі, виступає каталізатором педагогічних нововведень, стимулює обмін інформацією та поліпшує співпрацю не лише між учителями й учнями, а також між учнями; спрощує доступ до освітніх баз даних різним категоріям школярів [230].

Технологічний аспект реалізації електронного навчання включає в себе систему управління навчанням (LMS — Learning Management System), яка може бути реалізованою через різні програмні оболонки або платформи на кшталт Moodle [312, 375]. Фахівці зі змішаного навчання вказують на дві моделі надання доступу до освітніх ресурсів [311, 312, 385] — у традиційному розумінні та із залученням хмарних технологій. Традиційні LMS надають доступ до освітнього процесу через підключення учасників навчального процесу до навчальних матеріалів, форумів тощо. Причому вважається, що соціальні мережі як найбільш доступні засоби спілкування людей в мережі Інтернет, значно розширюють межі виконання спільних проектів і роблять процес навчання більш соціальним [312]. У зв'язку з цим, реалізовано досвід (наприклад, в США та в ряді європейських держав) із інтеграції LMS в популярні соціальні сервіси [311].

Друга модель пов'язана із залученням до освітніх систем хмарних технологій. На «хмарі» розташовують спеціально організовані компаніями Google та Microsoft сервіси — G Suite for Education (до 2016 року була інша назва — «Google Apps for Education») та Microsoft Live@edu.

Вказані сервіси надають учасникам освітнього процесу аналогічні інструменти, які надає автономна LMS. Крім цього хмарні платформи дистанційної освіти дають можливість реалізувати мобільне навчання — електронне навчання на базі мобільної технології.

Педагогічний аспект змішаного навчання передбачає розробку методик та моделей навчально-методичного забезпечення в середовищі електронного навчання. Модель змішаного навчання визначає співвідношення навчального часу, витраченого на традиційне навчання та онлайн-навчання. Інакше кажучи, фази електронного та традиційного навчання можуть мати різну частку від загального часу, витраченого на навчальний процес. Зарубіжні дослідники особливо звертають увагу на ті моделі, що зменшують частину часу проведеного учнями або студентами в аудиторії. Моделі змішаного навчання, які розробляються та успішно використовуються

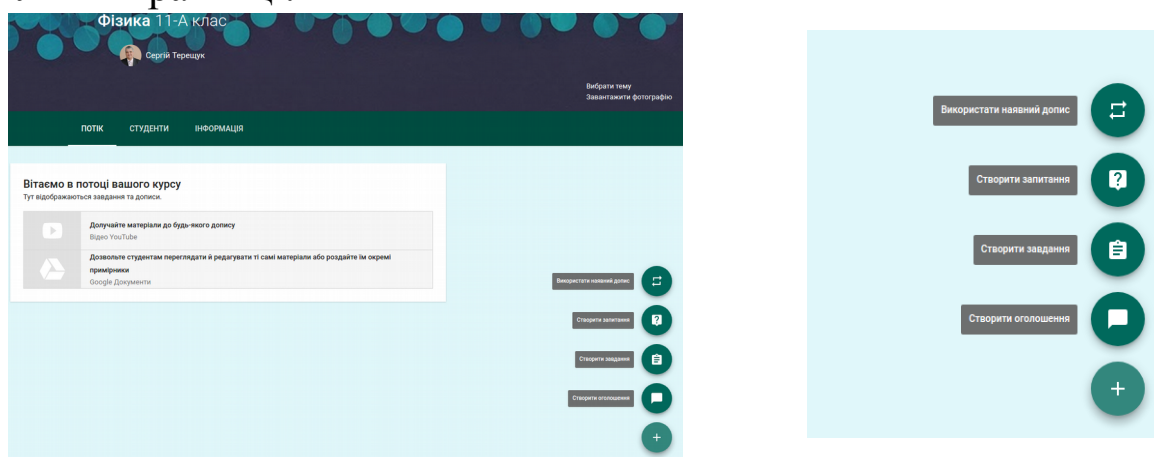
в університетах США, Канади та Європи набувають популярності також у шкільних закладах освіти. Так, у шкільній практиці стали поширеними шість моделей змішаного навчання, які були дослідженні і виокремлені на основі досвіду їх використання в університетах вказаних країн [366]:

1. Модель, у якій онлайн-навчання доповнює аудиторне навчання і забезпечує доступ до електронних ресурсів з комп'ютерного класу, лабораторії, дому (Model 1: face-to-face Driver). Наприклад, модель «перевернутий клас».
2. Модель в якій відповідно до графіку чергуються онлайн-навчання і традиційне навчання під керівництвом викладача (Model 2: Rotation). Наприклад, модель «ротаційні групи».
3. Модель, в якій більшу частину часу навчальний процес відбувається в електронному навчальному середовищі за очної підтримки викладачем (Model 3: Flex).
4. Модель, у якій навчання проводиться в онлайн-лабораторії, що обладнана як спеціальний клас, де учні можуть отримувати онлайн-консультації викладача, а технічну підтримку забезпечують працівники лабораторії (Model 4: Online lab).
5. Модель, у якій студенти обирають онлайн-курси в якості доповнення до вивчення навчальних дисциплін в очному режимі (Model 5: Self-blend).
6. Модель, за якої студенти віддалено навчаються в електронному середовищі в режимі онлайн, а атестацію проходять очно (Model 6: Online driver).

Як бачимо із опису моделей, для шкільної практики згідно з діючими навчальними програмами, придатні лише перші дві моделі — коли електронне навчання доповнює аудиторне (face-toface driver) та модель чергування електронного та традиційного навчання (rotation). Для реалізації цих моделей, відповідно до трьох компонентів змішаного навчання (інституціонального, технологічного та методичного) необхідно було обрати відповідну програмну оболонку або платформу, через яку буде здійснюватись управління онлайн-навчанням. Проведений вище аналіз показав, що існує три варіанти: а) застосування автономної LMS (Learning Management System), наприклад, Moodle; б) інтеграція традиційних платформ (типу LMS) із соціальними мережами (сервісами); в) платформи, що використовують хмарні технології. Нами було обрано третій варіант, оскільки як свідчить аналіз та авторський досвід, вони об'єднують усі

переваги двох перших варіантів, а також дозволяють упроваджувати мобільне навчання. З цією метою розглянемо в контексті реалізації обраних моделей (face-toface driver та rotation) платформу Classroom, що спирається на хмарні технології.

Вище, в п.п. 2.2.2 ми вже вказували на основні особливості Classroom. Однією з переваг цієї технології є застосування мобільних пристроїв, що дозволяє реалізувати мобільне навчання. Відповідно до моделі face-toface driver розглядувана платформа може застосовуватись наступним чином — основні заняття проводять в класі (в аудиторії), а платформа classroom слугує допоміжним засобом. Нижче буде описано, як це може бути реалізовано в шкільній практиці.

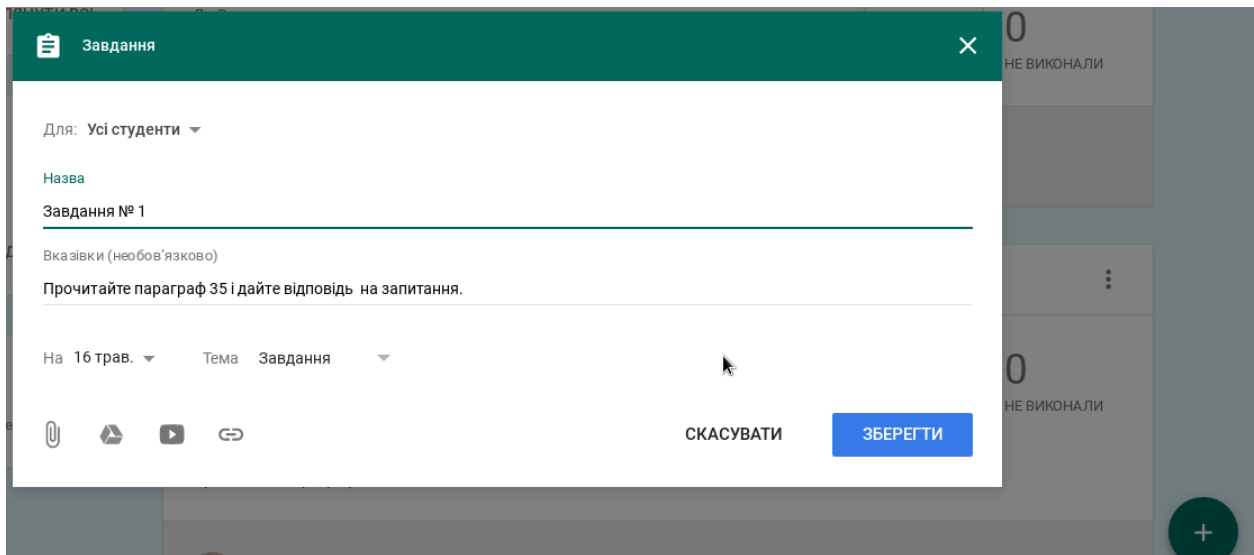


Мал. 1 Сторінка викладача в Classroom

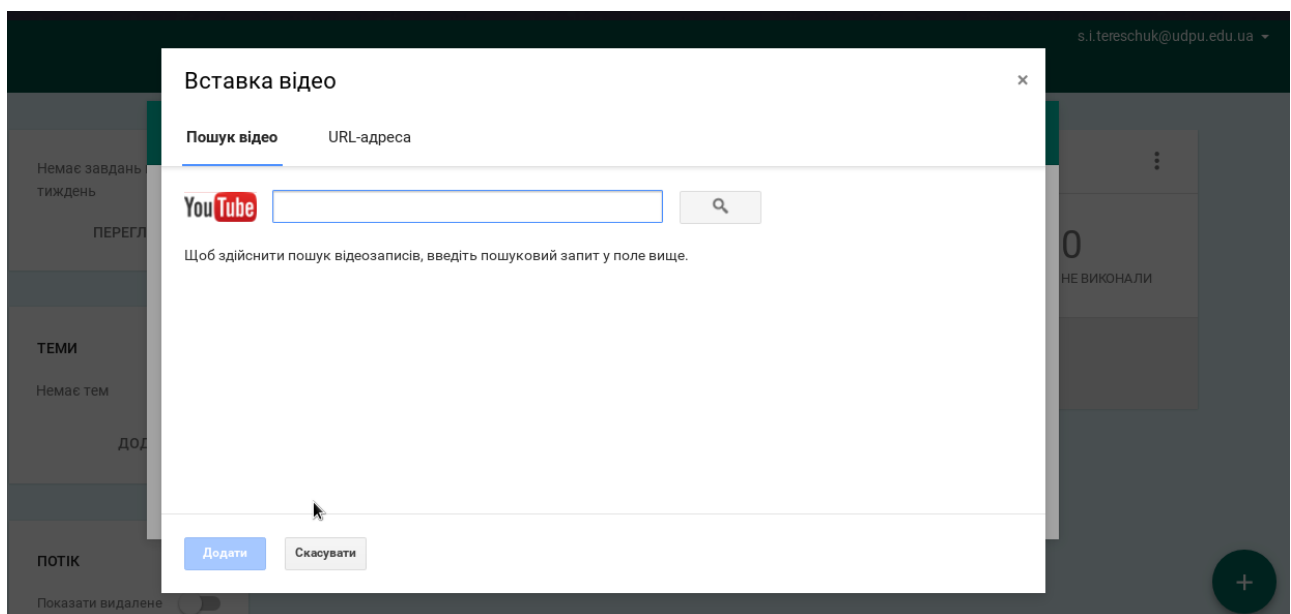
Classroom дозволяє створювати учителю наступні об'єкти із залучення учнів до навчання в онлайн-режимі: створити оголошення; створити завдання або запитання; використати вже готовий допис (завдання, запитання або оголошення), створений раніше для іншого класу (мал 1 а, б).

Опція «Створити оголошення» передбачає створення повідомлення для учнів, яке може носити виключно інформативний характер — перенесення заняття, зміни в розкладі, оголошення рейтингу тощо. Опція «Створити завдання» дозволяє створювати завдання різного характеру. При створенні завдання в учителя є можливість прикріпити різний контент — електронні підручники, книжки або їх фрагменти, статті із наукових часописів, власні розробки (статті, дидактичний матеріал), відеоматеріали, посилання на віртуальну фізичну лабораторію Phet Interactive Simulation (<https://phet.colorado.edu/uk/simulations/category/physics/quantum-phenomena>), тест тощо (мал. 2-5).

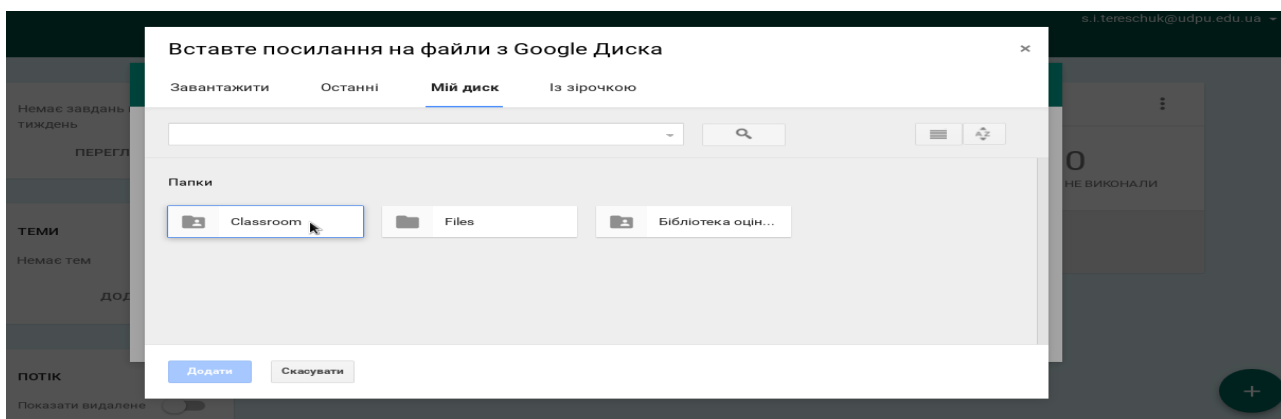
Модель «Перевернутий клас». Як засвідчили проведені нами спостереження за навчальним процесом, модель «перевернутий клас» може бути реалізована за допомогою Classroom наступним чином. Учитель створює завдання, яке полягає в самостійному опрацюванні учнями навчального матеріалу (мал. 2).



Мал. 2 Створення завдання

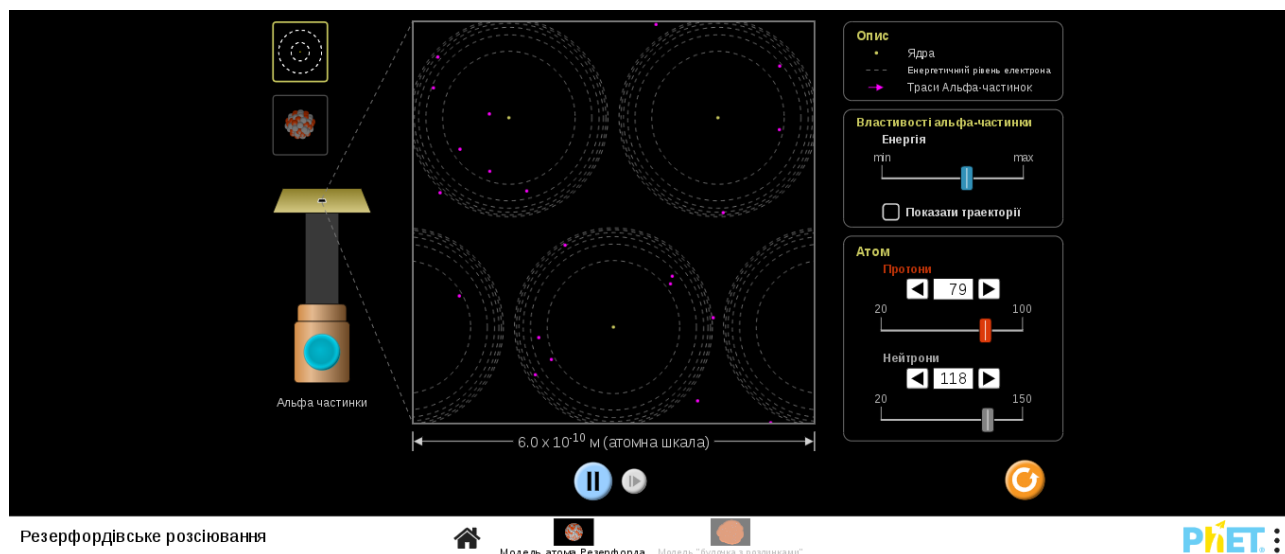


Мал. 3. Додавання відео до завдання



Мал. 4. Додавання файлів з Діску

З цією ж метою завантажуються навчальні матеріали із Google Діску (мал. 4), пропонуються до перегляду навчальні відео (мал. 3). Таким чином, репродуктивна навчальна робота учнів переноситься на домашнє вивчення. Натомість в аудиторії (в класі) учитель організовує обговорення з прочитаного, використовуючи метод бесіди або інтерактивні технології кооперативного навчання. Слід окремо підкреслити, що система Classroom дозволяє під час дистанційного «домашнього» вивчення матеріалу вести контроль, фіксуючи кількісні та якісні показники об'єму виконаної роботи. Це здійснюється з одного боку учителем засобами Classroom (робота в Google Документах у режимі онлайн, тестування за допомогою Forms, встановлення часових меж виконання завдання та ін.), з іншого боку, контроль може здійснюватись батьками або опікунами шляхом підключення останніх до Classroom.



Мал. 5. Віртуальна фізична лабораторія Phet Interactive Simulation

Модель «Ротаційні групи».

Учні класу об'єднуються у дві групи: перша займається традиційним навчанням, друга — за онлайн-курсами. Груп може бути більше двох, наприклад, перша група навчається традиційно шляхом виконання самостійної роботи за дидактичними матеріалами; друга група працює безпосередньо з учителем (демонстрація та обговорення досліду, або фронтального експерименту, евристична бесіда, розв'язування задач тощо); третя група працює в режимі електронного навчання. Врахування навчальних досягнень учнів учитель здійснює через Classroom, причому до усіх груп, незалежно від виду роботи. З цією метою учитель, для груп учнів, які працюють традиційно в класі, створює завдання (мал. 2), але завдання не наповнює контентом. Оцінка виставляється не за виконану роботу онлайн, а за роботу в класі, а оцінки заносяться до електронного журналу (мал. 6), який автоматично буде створено в Google Таблиці або файл з розширенням CSV.

Потім групи міняються, і учні, що працювали з учителем або виконували самостійну роботу, виконують завдання в режимі онлайн.



Мал. 6

Наші спостереження засвідчили, що ця модель за допомогою Classroom дозволяє застосувати змішане навчання спільно із іншими технологіями навчання, наприклад, інтерактивними технологіями кооперативного навчання.

Метод роботи в малих групах «Акваріум» передбачає об'єднання учнів класу у дві групи (див. п.п. 2.2.3.). Водночас модель «Ротаційні групи» передбачає також роботу груп, які по чергово працюють в онлайн режимі та традиційно.

Підсумовуючи, слід відзначити наступне:

1. Змішане навчання достатньою мірою дозволяє здійснювати формування у старшокласників навчальних компетентностей та навичок критичного мислення.
2. Перспективними напрямками в дослідженні та впровадженні

змішаного навчання є інтеграція останньої із іншими технологіями навчання — технологіями розвитку критичного мислення, інтерактивними технологіями кооперативного навчання, адаптивним навчанням, мобільним навчанням.

3. Змішане навчання вимагає дослідження наступних аспектів: вивчення та застосування часткових методик e-learning у викладанні квантової фізики в старшій школі та розвитку критичного мислення в учнів; вивчення та дослідження можливостей мобільних пристроїв як засобів навчання; дослідження хмарних платформ, зокрема Classroom, як засобу навчання та розвитку критичного мислення у старшокласників.
4. Найбільш ефективним застосуванням описаних моделей з реалізації змішаного навчання буде об'єднання на основі платформи Classroom трьох моделей в одну: модель, що доповнює аудиторне навчання (face-to-face driver); ротаційні групи (rotation); онлайн лабораторія (online lab).

Висновки до розділу II

1. У другій половині XX століття технологічний підхід еволюціонував від застосування технічних засобів навчання до створення технологій навчання, які враховували не лише технічний прогрес новітніх засобів, а також сучасні теорії навчання. На початку XXI століття поступ мобільних та хмарних технологій зумовили черговий виток розвитку технологій навчання. Виникла потреба аналізу методичної системи навчання фізики у старшій школі з огляду на нову парадигму освіти, що продиктована бурхливим розвитком інтернет-технологій, які швидко насичують освітні системи інформаційними потоками, коли інформація стає більш доступною. Тому важливо не лише володіти знаннями, а й уміти використовувати їх на практиці, самостійно здобувати та аналізувати інформацію на предмет її релевантності, надійності тощо. Таким чином, з'явилися передумови заміни знанєвої парадигми освіти на нову, що орієнтована на компетентнісний підхід. На підставі проведеного аналізу науково-методичної літератури та відповідних результатів наукових досліджень, нами було виокремлено кілька компетентнісно орієнтованих технологій навчання: технологія формування критичного мислення, мобільне навчання, інтерактивні технології кооперативного навчання, адаптивне навчання.

2. Концептуально технологія критичного мислення базується на ідеях критичного раціоналізму К. Поппера. Адекватна реалізація цих ідей у навчальному процесі може помітно трансформувати методичну систему навчання фізики і, зокрема, квантової теорії. Зазвичай навчальний процес слідував у межах позитивістської концепції: *Дослід — Індуктивне узагальнення — Теоретичне узагальнення — Теорія — Верифікація теорії*, яка віддзеркалює емпірично-індуктивний підхід. Ця схема добре описана і достатньо досліджена в методичній науці [140, 221, 224, 225, 226, 233, 308 та інші]. Проте, вона не позбавлена недоліків, які особливо помітні при вивченні теорії будови речовини. Натомість для успішного формування знань з квантової фізики перспективним видається використання гіпотетико-дедуктивного підходу, що у філософському сенсі спирається на критичний раціоналізм Поппера та передбачає розвиток критичного мислення. За цих умов більш доцільною є наступна концептуальна схема: *Проблема — Гіпотези — Раціональна критика — Вибір гіпотези — Раціональна критика нової теорії — Нова проблема*.

Вказаний підхід є новим і недостатньо дослідженим в методиці навчання фізики. Водночас можемо гіпотетично стверджувати, що нова схема викладу навчального матеріалу орієнтує демонстрацію дослідів та використання наочностей не для накопичення чуттєвого досвіду як за емпірично-індуктивного підходу, а для збагачення процесу раціональної критики, перевірки гіпотез. Отже, можна припустити, що це дозволить розв'язати проблему наочності у викладанні квантової фізики в загальноосвітній школі та успішно формувати в учнів навички критичного мислення.

3. Використання в навчальному процесі мобільних пристроїв дозволяє по-новому використовувати ІКТ, коли смартфони, планшети, електронні книги застосовуються в інтеграції із персональними ПК та хмарними сервісами на кшталт G Suite for Education (Google) та Live@edu (Microsoft). Водночас мобільне навчання формує сучасну парадигму освіти. Відповідно до неї навчальний процес позбавлений бездумного накопичення знань, орієнтований на формування компетентностей, персоналізований та неперервний для кожного учня, має миттєвий зворотний зв'язок, передбачає ефективне використання навчального часу на уроках та якісно новий рівень управління навчальним процесом. Аналіз досліджень фахівців із мобільного навчання показав, що успішна реалізація мобільного навчання можлива через змішане навчання — інтеграції класно-урочної системи та технології електронного навчання. Серед різних моделей змішаного навчання, нами пропонується модель, що інтегрована на двох моделях — коли електронне навчання доповнює аудиторне (face-to-face driver) та моделі чергування електронного і традиційного навчання (rotation). Враховуючи різні аспекти змішаного навчання (інституціональний, управлінський та навчально-методичний), в якості LMS (Learning Management System) нами обрано платформу, що використовує хмарні технології і реалізується через Classroom в рамках сервісу G Suite for Education. Таким чином, у межах нашого дослідження виникла потреба методично об'єднати дві моделі змішаного навчання (face-to-face driver та rotation) на основі Classroom як компетентнісно орієнтовану технологію навчання з формування критичного мислення у старшокласників на уроках фізики.

Розділ III. Методична система профільного навчання квантової фізики

3.1. Поняття і структура методичної системи навчання квантової фізики у курсі старшої школи

Вивчення квантової фізики необхідне для формування в учнів наукових уявлень про навколишній світ. Актуальність її вивчення обумовлена також досягненнями фізики мікросвіту, які знаходять широке застосування в інноваційних технологіях. Методи квантової механіки та результати її досліджень застосовуються у квантовій електроніці, фізиці твердого тіла та сучасній хімії. Завдяки досягненням квантової теорії твердого тіла, створюються нові матеріали із наперед відомими властивостями — магнітними, напівпровідниковими, надпровідними тощо. Саме з розвитком квантової фізики ученим вдалося несуперечливо описати властивості елементарних частинок і, спираючись на ці дослідження, сповна описати властивості твердих тіл, плазми, надпровідників і таких “екзотичних” об'єктів, як нейтронні зорі, сонячна речовина та ін. Успіхи квантової фізики дозволяють оптимістично оцінювати результати досліджень щодо сценарію розвитку Всесвіту від Великого вибуху до наших днів.

В останнє десятиріччя досить актуальною темою, що обговорюється науковою громадськістю, є нанотехнології (Nanotechnologies) — міждисциплінарна галузь прикладної науки, предмет вивчення якої належить до мікросистем протяжністю від кількох нанометрів до часток нанометра. Нанотехнології, як правило, пов'язують із матеріалами з наперед відомими властивостями, приладами, пристроями, які можна отримати маніпулюючи окремим атомами і молекулами. Наприклад, до таких належать одношарові нанотрубки (SWNT), двохшарові (DWNT) та багатшарові нанотрубки (MWNT), вуглецеві сфери тощо. Перелічені наноструктурні одиниці можуть бути застосовані у нових типах нанофільтрів, наносенсорів, — на їх основі розробляються різні прилади для аерокосмічної та автомобільної промисловості. Нанотехнології дозволяють також впроваджувати розробки в галузі енергетики — системи отримання енергії з водню (Hydrogen Power

System), які можуть постачати енергією автомобілі, будинки, дистанційні джерела живлення тощо. З'являються реальні можливості зі створення нових типів вуглецевих композитів, що мають міцність значно вищу будь-якого металу і властивості, що непритаманні жодному з металів. Інша область застосування нанотехнологій — колоїдні системи, які досліджуються колоїдною фізикою (хімією), молекулярною біологією, мікроелектронікою. Загалом, фахівці з нанотехнологій досить високо оцінюють темпи зростаючого впливу нанотехнологій практично на усі відомі галузі виробництва [166].

У квантовій фізиці відбивається сучасний стан розвитку фізичної науки і, водночас, вона обмежує застосування класичних уявлень для пояснення багатьох процесів і явищ, які можливо обґрунтувати лише в термінах квантової теорії. Вивчення елементів квантової фізики покликано ознайомлювати учнів із сучасними досягненнями фізичної науки у вивченні мікросвіту та еволюції Всесвіту. Тому поза сумнівом маємо прийняти необхідність вивчення квантової фізики у сучасній школі. Проте, загальновідомі питання як саме навчати, чому навчати і для чого навчати набувають нової актуальності, оскільки формування лише знань і відповідних понять вже недостатньо.

Більшість методистів сходяться на думці про те, що вивчення квантової фізики має бути якнайповніше викладено у змісті шкільного курсу (а також при вивченні фізики у вищій школі). Інакше уявлення учнів про будову і властивості речовини будуть неповними та не відповідатимуть сучасним науковим уявленням про навколишній світ [22, 24, 37, 155, 236 та ін.]. Остання теза, на наш погляд, потребує уточнення з огляду на сучасні тенденції розвитку методичної системи вивчення квантової фізики у старшій школі. Мова йде про зміщення акцентів із формування знань на формування предметної компетентності старшокласників з квантової фізики.

Як показав проведений вище (у розділі І) аналіз історії розвитку методичних ідей та змісту вивчення квантової теорії у шкільному курсі фізики, тривалий час її вивчення обмежувалося розглядом питань фотоефекту, без пояснення його квантового механізму. Згодом (кінець 40-х років ХХ ст.) до шкільного курсу фізики включили питання будови атома та квантової природи світла. Швидкий розвиток атомної енергетики та фізики високих енергій (50—60-ті роки) призвів до появи в тогочасних підручниках з фізики напівемпіричного матеріалу (питання радіоактивності, застосування радіоактивних ізотопів, принцип роботи ядерного реактору тощо). Проте, вивчення

ідей квантової фізики залишалося порівняно на невисокому науковому рівні і розглядалося переважно як окремий випадок дії світла. Реформа 1969—1973 р.р. внесла нові методичні ідеї, проте зміст і методика вивчення квантової фізики залишався на тому ж рівні і в межах двох розділів — “Оптика” (квантові властивості світла) та “Атом і атомне ядро” (постулати Бора, будова атома і атомного ядра).

Протягом розглядуваного періоду, поряд із зміною змісту навчання фізики і квантової фізики зокрема, відбулась також еволюція загальної напрямленості навчального процесу. У період від післявоєнних років і до реформи змісту фізичної освіти 1969—1973 р.р. акцент робився на підвищенні наукового рівня викладання основ наук, формуванні знань, підвищенні теоретичного рівня знань з фізики тощо.

У 1992 році, з проголошенням незалежності України, поряд з формуванням знань, були визначені нові цілі, що орієнтували на світовий досвід і вимагали докорінної перебудови національної школи, яка б враховувала особистісну спрямованість освіти для кожного школяра. Слідування світовим тенденціям розвитку освітніх систем призвело до відродження демократичних засад у національній загальній середній фізичній освіті (у період 1992-2000 р.р.), і як результат — зміщення акцентів із формування предметних знань “у бік загальної природничо-наукової грамотності” [145, с.52], методологічної та методичної переорієнтації “освітніх систем з інформативних аспектів вивчення фізики на розвиток особистості учня” [140, с. 115] та ін. Слід відзначити, що це відповідало загальносвітовим тенденціям розвитку тогочасних педагогічних рухів і течій. Так, наприкінці 80-х початку 90-х років остаточно оформилась “педагогіка співробітництва” (Ш. Амонашвілі, О. Захаренко, Є. Ільїн, В. Шаталов та багато інших), яка виникла як рух за оновлення школи і заміну авторитарної системи викладання ідеями гуманізму й творчого підходу до розвитку особистості [84, с. 637]. Концептуально близькою до педагогіки співробітництва була “гуманістична педагогіка”, що набула найбільшого розвитку у середині 80-х років [93, с.82-85]. Її теоретичним підґрунтям стали дослідження американських психологів К.Роджерса (Carl Ransom Rogers 1902-1987) та А. Маслоу (Abraham Maslow 1908—1970), які вважаються фундаторами “гуманістичної психології”.

Орієнтація національної школи на світовий — досвід цілком виправданий напрямом розвитку, який залишається актуальним й до

сьогодні. Як справедливо відзначає О.І. Ляшенко “... без урахування світового досвіду реформування школи, спираючись лише на національні традиції у сфері освіти і культури, можна, з одного боку, позбутися конкурентноздатності національної системи освіти на світовому рівні, залишившись на узбіччі світового суспільного прогресу; з іншого боку, у своїй суспільнотворчій діяльності повторити нераціональні та хибні шляхи перебудови школи, що призведе до значних втрат і часу, і матеріальних ресурсів” [140, с.115].

Звичайно, беззастережне перенесення досвіду зарубіжної школи не матиме успіху, якщо ігнорувати традиції національної системи освіти. Водночас, існує потужний доробок вітчизняної методичної школи, який не варто відкидати. Також слід враховувати дослідження психологів, педагогів і дидактів радянської доби яких, на жаль, останнім часом подекуди замінюють на “модних” зарубіжних дослідників, забуваючи, що результати досліджень останніх за результатами не відрізняються від перших і водночас враховують менталітет і психолого-педагогічні особливості розвитку школярів.

В останні кілька десятиріч у США та інших високорозвинених демократичних країнах світу (Франція, Німеччина та інші) відбуваються помітні зміни в парадигмі освіти. Ці зміни продиктовані рядом тенденцій, які носять досить різноманітний характер, обумовлений національними особливостями та іншими факторами, що історично склались у кожній державі. Проте, можна виокремити ряд спільних суттєвих тенденцій. По-перше, декларування у більшості високорозвинених країнах доступності навчання в усіх освітніх закладах. Це пов'язано з тим, що в сучасному суспільстві зростає зацікавленість в залученні населення до якісної освіти, яка дозволить якнайшвидше скористатися здобутками науково-технічного прогресу, підвищить соціальний та моральний статус кожного громадянина.

По-друге, розширення структури і типології шкіл різного профілю. Це викликано необхідністю врахування індивідуальних нахилів та інтересів учнів, які особливо помітно вирізняються на пізніх етапах навчання в школі. Причому враховуються не лише нахили і здібності учнів, а й економічні особливості регіону, де розташований навчальний заклад, розвиток певної галузі виробництва тощо.

По-третє, спостерігається тенденція з розділення навчальних предметів на обов'язкові та такі, що вивчаються за вибором учнів. Ця

тенденція має ті ж витoki — врахування індивідуальних нахилів та інтересів кожного учня. Проте, розв'язується на рівні конструювання змісту навчання кожним індивідуумом через вибір навчальних предметів, що віднесені до варіативної частини.

По-четверте, спадкоємність освітньо-виховних закладів та неперервність освіти. Вказана тенденція особливо актуальна в останнє десятиріччя і пов'язана із швидким розвитком науки, техніки і технологій, появою нових галузей виробництва, що вимагають нових знань і підвищення професійної кваліфікації або її заміни на споріднену.

По-п'яте, спостерігається становлення нової парадигми освіти, що враховує :

- ідеї освітньої філософії конструктивізму;
- практичну реалізацію технологічного, особистісно-зорієнтованого та суб'єкт-суб'єктного підходів до організації навчального процесу;
- встановлення рівноправних партнерських стосунків між учителем і учнем та організацію продуктивної співпраці суб'єктів навчального процесу;
- орієнтацію результатів навчання на здобуття компетентностей.

В освітній практиці більшості високорозвинених країн з'являються спроби упровадження ідей конструктивізму у практику масової школи. Так, на сучасному етапі розвитку освіти, відбувається перехід від концепції біхевіоризму, що останні десятиріччя панувала в педагогіці США, до ідей конструктивізму, які поступово вибудовуються в нову педагогічну філософію. Педагогіка конструктивізму сповідує фундаментальну ідею — знання не можна передати у готовому вигляді, лише створити умови для самоконструювання освітньої траєкторії школяра. Протягом життя кожен індивід конструює власне пізнання навколишнього світу, а тому набуває унікального і неповторного досвіду, який вирізняється з-поміж інших власним баченням окремих питань або проблем, переконаннями і, зрештою, світобаченням. Для реалізації конструктивізму як педагогічної філософії на рівні навчальних технологій або методик, необхідно створити такі умови, коли досвід, цінності і наявні знання учня визнаватимуться першочерговими, а не другорядними, як це зазвичай відбувається у сучасній школі. Це буде відправним пунктом формування нових знань і компетентностей шляхом мотивації навчання через включення учнів у пошук,

дослідження реальних об'єктів дійсності. Слід відзначити, що реалізація ідей конструктивізму у методиці має ряд суттєвих перешкод, пов'язаних з відсутністю адекватного інструментарію (методів, форм, засобів навчання) [36]. Один зі шляхів розв'язання цієї проблеми нам вбачається у розвитку концепції критичного мислення (розділ II).

Окреслені вище світові тенденції розвитку освітніх систем, з урахуванням особливостей національного розвитку, знайшли своє відбиття в стратегічних напрямках розбудови та реформування системи освіти України. У Декларації Тисячоліття ООН (вересень 2000 року) було визначено ключові цілі та завдання людського розвитку, які затверджені у 189 країнах-членів ООН. Серед цих цілей для України слід виокремити два завдання, вирішення яких дозволить забезпечити якісну освіту впродовж життя: підвищення рівня охоплення освітою та підвищення якості освіти [319]. Національною Доктриною розвитку освіти України визначено, що модернізація системи освіти має бути спрямована на забезпечення її якості відповідно до новітніх досягнень науки, культури і соціальної практики. Саме тому *якість освіти* визнано національним пріоритетом і передумовою національної безпеки держави [167]. Отже, перед сучасною школою постає низка нових завдань, для вирішення яких необхідно залучення технологічного підходу, що враховуватиме особистісно-зорієнтоване навчання, результатом якого буде не сума знань, законів, набір наукових фактів тощо, а певний спектр компетентностей.

Підсумовуючи, можемо стверджувати, що пропонована методична система вивчення квантової фізики у старшій школі повинна враховувати:

1. постійну активність учня;
2. компетентнісний підхід у навчанні;
3. суб'єкт-суб'єктні відносини педагога й учня;
4. конструювання знань учнем разом з учителем;
5. концептуальні засади розвитку критичного мислення;
6. сучасні засоби навчання, що враховують мобільне навчання;

Для того аби методична система задовольняла вказаним вимогам, необхідно окреслити її структуру та зміст, також вказати на її особливості для випадку вивчення квантової фізики в умовах профільної школи. Проблема побудови методичної системи взагалі і вивчення квантової фізики зокрема, пов'язана зі створенням певної

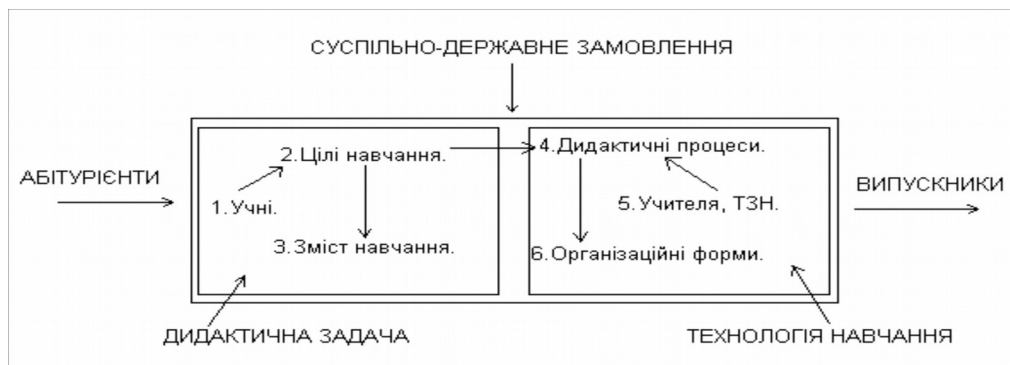
ієрархії дидактичних і методичних елементів, структурно та функціонально розташованих так, щоб уможливити максимально ефективне відображення певної ділянки педагогічної дійсності. Методика, взагалі кажучи, завжди передбачала системний підхід, який вважається одним із провідних методологічних принципів дослідження в будь-якій галузі науки. Стосовно різних варіантів структурної організації та змістового наповнення методичних систем, є чисельні статті, огляди та монографії видатних вчених як вітчизняних так і зарубіжних, котрі дозволяють стверджувати про необхідність ґрунтовного дослідження цього питання.

Проблема дефініції та класифікації педагогічних і методичних систем, розмежування і пошуку спільних істотних ознак у поняттях “технологія”, “методика”, “методична система”, а також з'ясування шляхів інтенсифікації та оптимізації навчального процесу, розглянуто у численних працях вітчизняних та зарубіжних дослідників: С.У. Гончаренка, Ю.К. Бабанського, В.П. Беспалько, В.Ю. Бикова, В.І. Боголюбова, Л.Г. Вікторової, В.В. Гузеєва, Т.А. Ільїної, Н.В. Кузьміної, В.В. Краєвського, Б.Г. Кременського, Г.В. Лаврентьєва, Н.Б. Лаврентьєвої, Г.К. Селевко, В.О. Якуніна та багатьох інших.

У філософському та методологічному аспектах під системою розуміють певну множину із наперед відомими зв'язками. У найширшому контексті системний підхід — методологічний напрямок, основним завданням якого є розробка методів дослідження та конструювання систем різних типів і класів. В.М. Садовський, аналізуючи різні дефініції поняття “система”, приходить до висновку, що в загальному розумінні системою є упорядкована множина взаємопов'язаних елементів, що утворюють стійку єдність і цілісність та мають інтегративні властивості, пов'язані певними закономірностями [240, с. 98]. А.І. Уємов визначає систему як множину об'єктів, котрі мають наперед визначені властивості з фіксованими між ними відношеннями (зв'язками) [307, с.117].

В.П. Беспалько під педагогічною системою розуміє певну сукупність взаємопов'язаних засобів, методів і процесів, які необхідні для створення цілеспрямованого педагогічного впливу на формування особистості. Відповідно структуру педагогічної системи він вбачає у взаємозв'язку наступних шести інваріантних елементів: 1) учні; 2) цілі навчання і виховання; 3) зміст навчання та виховання; 4) процеси навчання та виховання; 5) учителі та технічні засоби навчання; 6) організаційні форми навчально-виховної роботи [12, с. 6—7]. В

основу цієї моделі покладено два вихідних поняття: задачі та технології їх розв'язання (мал.1).



Мал. 1 Модель педагогічної системи за В.П. Беспалько

Проте вказана модель не дає вичерпної відповіді на питання, як саме чи у який спосіб має здійснюватись відбір методів і технологій навчання та дидактичних задач. У зв'язку з цим, очевидно, автор включив до системи елемент “суспільно-державне замовлення”.

Е.Г. Вінограй [40] пропонує реалізацію системного підходу здійснювати через наступні види діяльності: 1) констатування проблемної ситуації, для вирішення якої немає готових рішень або способів розв'язку, що створює необхідність створення “проблеморозв'язуючої системи”; 2) визначення мети та критеріїв її досягнення; 3) дослідження актуального середовища “проблемоутворюючої системи”, що включає лише ті фактори, котрі суттєві для її досягнення; 4) знаходження функцій — властивості системи, необхідні для досягнення мети для заданих умов середовища; проектується динаміка системи та її конструкція, функціональні властивості якої забезпечують досягнення мети.

Поняття системи нерозривно пов'язане з поняттями структури та її функціональності. Тому процес побудови будь-якої методичної системи пов'язаний зі створенням моделі її структурно-функціональних зв'язків.

За Т.А. Ільїною, структура — це внутрішня будова системи, яка характеризується наявністю стійких зв'язків між елементами системи, що забезпечують її незмінність (стійкість) в процесі функціонування [102]. Педагогічну систему вона визначає як “відокремлену на основі певних ознак упорядковану множину взаємопов'язаних елементів, об'єднаних загальною метою функціонування, єдністю керування, що у взаємодії з середовищем виступає як цілісна єдність” [102, с. 16].

Ю.К. Бабанський розглядав педагогічну систему як цілісний

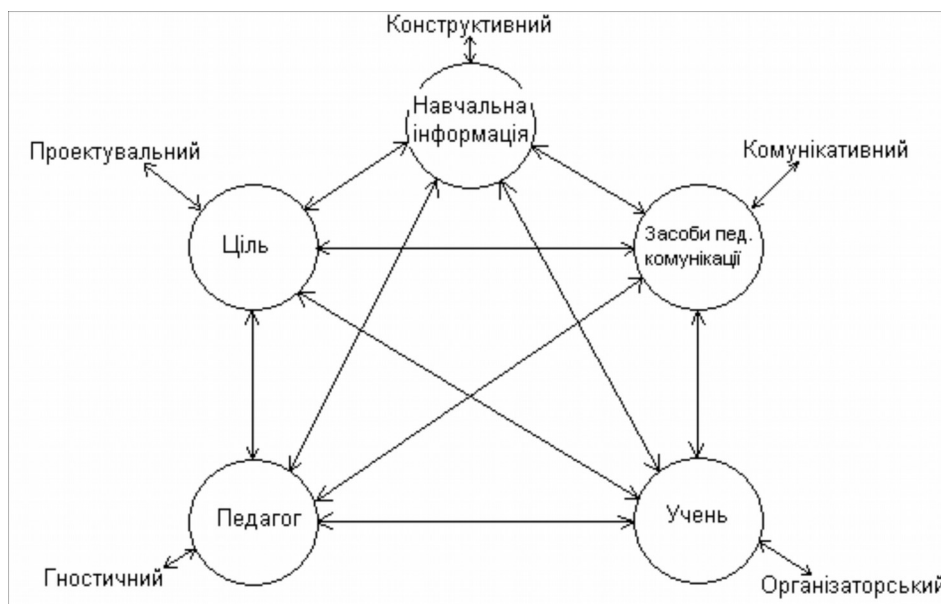
утвір, відзначаючи навчальний процес із точки зору “складу системи, у якій функціонує процес, і складу самого процесу [6, с. 41].

Л.Г. Вікторова [39] наголошує на необхідності доповнення педагогічної системи важливим компонентом — результатом функціонування системи. Цей результат виступає головним критерієм її ефективності. Під результативністю педагогічних систем розуміють можливість досягнення визначеної мети педагогічної діяльності. Це створює нову задачу — визначення, за яких умов або на якому етапі діяльності мету можна вважати досягнутою.

Заслуговує на окрему увагу концепція педагогічних систем, розроблена Н.В. Кузьміною. Спочатку вона не розділяла поняття “педагогічний процес” і “педагогічна система”. Так, у своїх ранніх роботах на цю тематику, вказувала: “В мікроструктурі педагогічного процесу завжди приймають участь чотири сторони” [125, с.10]. До цих чотирьох складових педагогічного процесу вчений відносила: зміст навчальної інформації; викладач (учитель), як посередник і джерело інформації; учень (вихованець); засоби передачі інформації. Така структура педагогічної системи є досить примітивною, з огляду на те, що учителю відводиться роль “транслятора” знань.

Протягом 1980—1990-х років Н.В. Кузьміною була запропонована п'ятикомпонентна педагогічна система в рамках теорії педагогічної діяльності учителя [124, 126, 156, 157]. Означення педагогічної системи протягом вказаного періоду змінювалось. Тут слід вказати на дві особливості. Перша пов'язана із поняттями компонентів, що входять до системи. Наприклад, у праці [126] педагогічна система визначається як множина взаємопов'язаних структурних і функціональних компонентів, підпорядкованих цілям виховання, освіти та навчання підростаючого покоління і дорослих людей. Як бачимо з означення, тут чітко розмежовано поняття структурних і функціональних компонентів системи: “Структурні компоненти — це основні базові характеристики педагогічних систем, сукупність яких, власне, утворює ці системи, по-перше, і відрізняє від усіх інших (не педагогічних) систем, по-друге” [126, с.11]. До цих структурних компонентів нею віднесено: 1) цілі, 2) навчальна інформація, 3) засоби педагогічної комунікації, 4) педагог та 5) учень. На думку Н.В. Кузьміної “названі компоненти необхідні та достатні для створення педагогічної системи. При виключенні будь-якого з них — немає системи” [там само, с.13]. Крім структурних компонентів, вводилось поняття функціональних

компонентів (мал.2). “Функціональні компоненти — це стійкі базові зв'язки основних структурних компонентів, що виникають в процесі діяльності керівників, педагогів, учнів, вони обумовлюють рух, розвиток, удосконалення педагогічних систем і внаслідок цього стійкість ... В педагогічних системах виділяються гностичний, проектувальний, конструктивний, комунікативний, організаторський функціональні компоненти” [там само, с.16].



Мал. 2 П'ятикомпонентна модель педагогічної системи за Н.В.Кузьміною

Друга особливість пов'язана з тим, що запропонована Н.В. Кузьміною педагогічна система була розроблена в рамках акмеологічних досліджень і стосувалась до проблем розвитку дорослих людей (у психологічному та педагогічному контекстах), що професійно вже сформовані. Саме тому, окреслюючи дефініцію педагогічної системи, Н.В. Кузьміна чи не вперше (серед науковців пострадянської доби) звертає увагу на необхідність формування компетенцій, щоправда, без вживання цього терміну. Так, протягом 1990-х років, у більшості публікацій, означення педагогічної системи в черговий раз змінюється в частині цілей, яким мають бути підпорядковані структурні та функціональні компоненти: “педагогічна система — взаємозв'язок структурних та функціональних елементів, підпорядкованих цілям формування в особистості учня *готовності до самостійного, відповідального і*

продуктивного розв'язування задач” [126, с. 10]. Проте, представлена Н.В.Кузьміною педагогічна система належала не лише до “підростаючого покоління”, а також до професійно сформованих “дорослих людей” [124].

Таким чином, п'ять структурних та п'ять функціональних компонентів склали п'ятикомпонентну модель педагогічної системи Н.В. Кузьміної. Більшість дослідників відзначали повноту цієї моделі [270]. Згодом ця система була вдосконалена після того, як В.О. Якунін вказав на недостатність п'ятикомпонентів системи в контексті управління педагогічними системами. Зокрема, він відзначає, що “функціональна модель управління педагогічними системами, побудована Н.В. Кузьміною, вимагає деякого доповнення і уточнення як у відношенні її повноти, тобто складу виділених в ній функцій, так і в частині змістової інтерпретації окремих з них” [341, с.19]. Він вказав, що в системі Н.В. Кузьміної відсутні дві важливі функції — прогнозування та оцінки її результативності. У своїх останніх працях Н.В.Кузьміна, погоджуючись із зауваженнями В.О.Якуніна, п'ятикомпонентну систему замінила на семикомпонентну. Так, у роботі присвяченій структурі акмеологічних систем [124], до п'яти компонентів додано ще два структурних і два функціональних компоненти: оцінювальний та прогностичний. В остаточному (сучасному) варіанті педагогічна система Н.В. Кузьміної є системою з семи пар структурно-функціональних компонентів: 1) цілі навчання, 2) навчальна інформація, 3) засоби педагогічної комунікації, 4) суб'єкт навчального процесу, 5) об'єкт навчання, 6) критерії оцінки якості освітньої системи; 7) наступна освітня система [126, с. 8].

У широкому розумінні педагогічна система — це множина взаємопов'язаних компонентів, які підпорядковані певним цілям виховання та навчання. Причому діяльність учасників педагогічного процесу є джерелом педагогічної мети і засобом її досягнення одночасно [96]. Для цього випадку у структурі педагогічної системи існують такі складові: 1) сукупність елементів системи (об'єкт та суб'єкт навчання, зміст навчання тощо); 2) взаємозв'язки між елементами системи (методи, форми і засоби навчання); 3) певна функція системи; 4) системоутворюючий фактор, через який визначається діяльність та взаємодія елементів педагогічної системи відповідно до дидактичної мети [96, с. 5—7]. Стійкість педагогічної системи забезпечується завдяки функціонуванню зворотніх зв'язків

між компонентами система, при послабленні або заміні одного з компонентів чи зміні мети веде до змін у системі в цілому. Це така динамічна рівновага, при якій зміна одних компонентів призводить до домінування або послаблення інших чинників так, що загалом система залишається як цілісне утворення [176].

І.П. Подласий, так як і Л.Г. Вікторова, до компонентів педагогічної системи відносить “результати”, проте додає нові — “управління навчально-виховним процесом”, “технологію”.

На основі аналізу різноманітних означень поняття “педагогічна система” [12, 39, 40, 102, 154, 156, 176, 183, 184] можна стверджувати, що це поняття найчастіше трактується у двох контекстах — у вузькому розумінні, як система компонентів, що пов'язані між собою через педагогічну діяльність (В.П. Беспалько, Н.В. Кузьміна, Т.А. Ільїна та інші) та у дещо ширшому контексті, — як система компонентів, що пов'язані, головним чином, через навчальну мету, яка визначає діяльнісний компонент системи (В.І. Загвязінський, О.М. Новіков). Для першого випадку, педагогічна система — це об'єднання учасників педагогічного процесу, в якому висувається певна мета і розв'язуються певні задачі (В.П. Беспалько, Л.Г. Вікторова, Н.В. Кузьміна, Т.А. Ільїна та інші).

Педагогічна система як полісистемне утворення може мати значну кількість модифікацій — “виховна система”, “навчально-виховна система”, “методична система”, “система освіти” тощо. Б.Г. Кремінський справедливо відзначає, що методична система у вузькому розумінні є складовою педагогічної системи, яка структурно та функціонально підпорядкована останній [120, с. 65]. В.В. Краєвський та А.В. Хуторський методичну систему відносно педагогічної визначають як таку, що у більшій мірі відбиває її практичну складову: “З наближенням до практики дидактичні і методичні елементи вибудовуються в методичну систему” [119, с. 70]. Вперше термін “методична система” як синонім дидактичної системи, був запропонований В.І. Загвязінським (про це згадує О.М. Новіков у праці [173, с. 46]). Згодом цей термін був обґрунтований і поступово набув глибокого науково-методичного змісту. Серед перших досліджень у цьому напрямку слід відзначити працю О.М. Пишкало [217].

Зазвичай методичну систему визначають як впорядковану сукупність “взаємопов'язаних та взаємообумовлених методів, форм і

засобів планування та проведення, контролю, аналізу, коригування навчального процесу, спрямованих на підвищення ефективності навчання” [154, с. 258]. Відповідно до цього, характерними ознаками сучасної методичної системи навчання є:

- науково обґрунтоване планування процесу навчання;
- єдність і взаємопроникнення теоретичної і практичної підготовки;
- високий рівень труднощів та швидкий темп вивчення навчального матеріалу;
- поєднання індивідуальної і колективної роботи;
- важливість самопідготовки — максимальна активність і достатня самостійність навчання;
- насиченість навчального процесу технічними засобами, інноваціями, передовими технологіями, активними формами та методами навчання [там само, с. 258].

В основу такого бачення методичної системи покладено ряд фундаментальних ідей, що реалізують суб'єкт-об'єктний підхід у навчанні. Так, відповідно до наведеного означення та характерних ознак, мета навчання визначається викладачем або учителем (суб'єктом навчання); зміст навчання визначається викладачем і коригується ним відповідно до мети; планування навчального процесу в контексті даної методичної системи визначається лише як “сукупність дій підрозділів навчальних закладів та окремих викладачів, яка полягає у складанні розкладу за предметами, часом та місцем проведення занять” [154, с. 258]. Потім передача знань відбувається шляхом реалізації запланованого навчального процесу через відповідні методи, форми і засоби навчання, які дозволяють “донести” знання до учня (об'єкту навчання), якому, зрештою, відведена роль “приймача” знань.

Дещо під іншим кутом зору розглядають методичну систему В.В. Краєвський та А.В. Хуторський, а саме як нормативне відображення викладання певного предмету. Зазначені автори відзначають наявність у цій системі знань різного рівня узагальненості, — від загальних принципів виховання і навчання до конкретних прийомів і методів навчання. Остаточна конкретизація цих знань відбувається через проект навчальної діяльності з використанням відповідних засобів навчання, зокрема через підручники, збірники задач, наочні посібники, технічні засоби навчання тощо [119, с. 70].

Б.Г. Кремінський, в цілому погоджуючись із авторами [119, 156], визначає методичну систему як дидактичну систему, в якій центральне місце, поряд із принципами, методами і засобами навчання, посідають форми навчання [120].

Таким чином, одним з варіантів означення поняття методичної системи є функціональний підхід (С.У. Гончаренко, Б.Г. Кремінський, О.М. Пишкало, Н.В. Кузьміна В.В. Краєвський, А.В. Хуторський та інші).

Зауважимо, що існує дещо інший і водночас детальніший та складний підхід до структурування методичної системи навчання, в основу якого покладено навчальну діяльність, що розглядається в контексті людської діяльності в цілому, тобто у більш широкому сенсі, ніж навчальна діяльність обумовлена комунікативною взаємодією учителя і учнів. Так, О.М. Новіков, розвиваючи ідеї В.І. Загвязінського, розглядав методичну систему як загальну напруженість навчання [172]. В основу такої системи вчений покладав певний тип людської діяльності, — складної системи, яка для випадку навчального процесу включає в себе підсистему “навчальна діяльність”. Типологія людської діяльності за О.М. Новіковим має два взаємообумовлених напрями — філогенетичний та онтогенетичний. Для першого випадку, в контексті історичного розвитку людства і цивілізації загалом, розглядаються різні типи основних форм організації діяльності, які інакше називаються “організаційна культура”. О.М. Новіков виокремлює чотири типи організаційних культур: традиційну, яка транслюється через міфологію і певний набір ритуалів; корпоративно-ремісничу, яка нормується через зразок і рецепт його відтворення; професійну, результатом якої є теоретичні знання у формі тексту; проектно-технологічну, проявом якої виступають проекти і технології. Кожному з чотирьох організаційних типів культур відповідає певна форма суспільного устрою, що мала місце в історії розвитку людської цивілізації — комунальні групи, корпорації (з ієрархією майстер—помічник—учень), професійні організації, засновані на онтологічних принципах і, нарешті, сучасне технологічне суспільство, що функціонує за принципами комунікативності та професійних відносин. Проектуючи наведену структурно-логічну схему діяльності людини на навчальний процес, О.М. Новіков доводить, що у процесі онтогенезу об'єкт навчання послідовно опановує способи діяльності, які властиві чотирьом організаційним типам культур, що сформовані

в філогенезі у процесі суспільно-історичного розвитку людства. Так, від народження до 3-х річного віку діяльність дитини проходить етап формування відносин із батьками — режим дня дитини виступає як традиція, ігри мають ритуальну дію тощо. Від трьох років діяльність дитини відповідає наступному історичному типу організаційної культури — ремісничому. Для цього типу діяльності характерним є копіювання дитиною дій і вчинків дорослих, наприклад, опосередковано під час ігрової діяльності, через імітацію різних ситуацій з “дорослого життя”. У початковій школі основним способом засвоєння людської культури виступає текст — атрибут наукового (професійного) типу організаційної культури. Нарешті, проектно-технологічний тип організаційної культури учень основної і старшої школи опановує, коли в навчальний процес вносяться елементи активного і проблемного навчання, проектні технології тощо.

Методична система як дидактична конструкція містить в собі процесуальну складову, що відповідає певній теорії навчання або, інакше кажучи, навчальній технології. Це видається цілком логічним, оскільки будь-яка методична система проектується на основі принципів та положень дидактики і методики з метою досягнення конкретних цілей навчання. Звідси випливає, що методична система містить у собі підсистеми і саме процесуальна підсистема являє собою педагогічну технологію.

Проведена О.М. Новіковим класифікація методичних (дидактичних) систем за головною ознакою — дидактичною метою навчання, дозволяє вносити до кожної системи певну технологію навчання, яка корелює з відповідним класом педагогічної теорії — асоціативно-рефлекторної або діяльнісної. Оскільки вказані теорії і відповідні їм технології навчання спираються на певний тип організаційної культури, що так чи інакше присутні в різні періоди розвитку дитини, О.М. Новіков наголошує на тому, що будь-які теорії навчання або технології ними репрезентовані, не мають виключати (або заперечувати) одна одну, оскільки усі вони мають право на існування та застосування до різних вікових груп учнів, особливостей викладання певних дисциплін тощо [172]. Спираючись на цю тезу, надалі розглядатимемо методичні системи як інструментарій вибору конкретних технологій, методів, способів тощо реалізації цілей навчання квантової фізики.

Проведений аналіз різних поглядів щодо визначення

методичної системи, дозволив виокремити два поширених підходи щодо трактування даного поняття. Перший визначає методичну систему як проект педагогічної діяльності, що реалізується через навчальну програму конкретного предмету і відповідні підручники, збірники задач, наочні посібники, технічні засоби навчання тощо (С.У. Гончаренко, О.М. Пишкало, В.В. Краєвський, А.В. Хуторський та інші). За такого бачення можна говорити про методичну систему навчання конкретного навчального предмету, теми чи розділу або, наприклад, навчального закладу, коли враховуватиметься контингент і кадровий склад, матеріально-технічна база навчального закладу (хоча це не єдині чинники) при виборі технологій, методів, форм і засобів навчання, засобів комунікації, які застосовуються у навчальному закладі для ефективного навчання. У такому разі, останньою, заключною ланкою методичної системи виступає робота учителя, який творить “нову педагогічну дійсність”, яка, у свою чергу, стає “... об’єктом вивчення (спостереження, опису, теоретичного аналізу), в результаті якого виявляються нові закономірності ... , формулюються нові принципи, розробляються рекомендації, створюються нові проекти і т.д.” [12, с.70]. Таким чином, методична система на рівні практичної реалізації з одного боку, жорстко детермінована навчальними програмами, підручниками та іншими засобами навчання і має варіативну частину лише в контексті застосовуваних учителем методів і форм навчання. З іншого боку, вона продукує не лише “готовий продукт” — знання, уміння і навички учнів, але є інструментом і водночас об’єктом вияву нових закономірностей, принципів, є такою собі системою зі створення нових проектів педагогічної діяльності.

Дещо інший підхід щодо визначення сутності і структури методичної системи, передбачає розгляд останньої як впорядкованої кількості взаємопов’язаних та взаємообумовлених дидактичних компонентів, які підпорядковані певній меті навчання, що загалом визначає типологію навчального процесу (В.І. Загвязінський, О.М. Новіков, Л.Г. Вікторова та інші). Зокрема В.І. Загвязінський, уточнюючи поняття методичної системи, відзначає: “Під типом (методичною системою) навчання ми розуміємо єдність цілей, змісту, внутрішніх механізмів, методів і засобів конкретного способу навчання. Якщо, наприклад, метою навчання є засвоєння фактів і опис явищ, то визначальним психологічним механізмом навчання буде асоціація, а основними видами діяльності — сприйняття,

усвідомлення, запам'ятовування. Відповідними методами навчання виступатимуть викладання, читання, відтворювальна бесіда, перегляд ілюстрацій. У сукупності маємо систему пояснювально-ілюстративного, репродуктивного відтворення [92, с.75]. Таким чином, цілі навчання визначають методи, які втілюють відповідні “психологічні механізми” навчання. У такому контексті методична система являє собою загальне цілісне структуроване педагогічне явище, що на відміну від попереднього підходу, передбачає інваріантність щодо педагогічних кадрів, контингенту навчального закладу і засобів навчання. Зміст навчальних програм залишається незмінним для будь-якого варіанту методичної системи, проте підручники, посібники, збірники задач не є визначальними і не регламентують методичні підходи та способи досягнення цілей навчання.

У методиці є усталеною думка проте, що навчальні матеріали та засоби навчання є не лише джерелом інформації, але й визначають методику навчання та “... конкретизують мету та кінцевий рівень навчальних досягнень” [207, с. 7]. З цим можна погодитись, проте з методичної точки зору цементуюча дія навчальних матеріалів може швидше нашкодити, ніж допомогти у досягненні загальноприйнятих сьогодні цілей навчання — формуванню в учнів творчого мислення, уміння використовувати знання для розв'язання конкретних завдань тощо. Вітчизняна школа методики вже має досвід, коли підручники і засоби навчання підпорядковані певним науково-методичним установкам лише гальмували розвиток методичної думки, а швидкі зміни у парадигмі освіти залишались нереалізованими внаслідок занадто міцного “прив'язування” методики викладання до змісту навчальних матеріалів. У цьому контексті методична система навчання має бути зорієнтована не на конкретний підручник або систему навчальних матеріалів, а являти певну спрямованість з досягнення чітко визначеної мети. Навчальний матеріал — закони, формули взаємозв'язків між фізичними величинами, положення теорій, принципи, фізичні поняття і явища — відіграють вторинну роль, натомість уміння використовувати отримані знання для вирішення особистісно значущих для кожного учня завдань, стають достатньою і необхідною умовою, що свідчить про ефективність методичної системи формування компетентностей.

Обидва описаних підходи, щодо бачення змісту і структури методичної системи навчання, мають різні рівні реалізації. Перший

підхід відповідає побудові навчального процесу на основі композиції методів із урахуванням конкретних цілей, умов і обставин навчального процесу, які продиктовані особливостями професійної підготовки фахівців, контингенту учнів, наявності відповідних засобів навчання тощо. Натомість другий варіант орієнтує структурування методичної системи через процедуру застосування методів шляхом вибору відповідних технологій навчання з опорою на певну педагогічну теорію (теорію навчання).

Для визначення структури та змістового наповнення методичної системи навчання квантової фізики, орієнтованої на формування навчальних компетентностей, нами було об'єднано обидва підходи з метою створення цілісної і сповна завершеної системи. Отже, пропонована методична система навчання квантової фізики складається з двох частин — з теоретичної моделі та дидактичного проекту, що власне реалізує модель у практичній площині.

Теоретична модель задовольняє наступним критеріям: *цілепокладання*, що визначає таксономію цілей методичної системи як складного об'єкту педагогічної дійсності; *напрявленість*, тобто наявність генеральної мети або ідеї навколо якої об'єднуються усі інші дидактичні компоненти; *технологічність*, що вимагає відтворюваність цієї моделі при додержанні передбачених вимог та відсутність прихованих параметрів системи, *методологічність*, означає врахування пропонованою методичною системою сучасних наукових основ методології фізичної науки. Розглянемо сутність означених критеріїв у рамках пропонованої методичної системи.

3.1.1. Цілепокладання як складова методичної системи формування навчально-пізнавальних компетентностей у старшокласників

Критерій цілепокладання у контексті пропонованої методичної системи означає таксономію цілей навчання, що відповідає загальній спрямованості методичної системи. “Таксономія” — галузь систематики, завданням якої є теоретичне обґрунтування класифікаційних одиниць (таксонів), що утворюють систему, мають певну субпідрядність, співвідношення та обсяг [74, с. 482]. Таксономія, як теорія класифікації та систематизації,

використовується для теоретичного опису високоорганізованих об'єктів дійсності, що мають ієрархічну будову. Надалі будемо спиратися на означення “таксономія”, наведене у роботі [74]. Оскільки основна напрямленість методичної системи об'єднана навколо формування навчально-пізнавальних компетентностей, то класифікація цілей навчального процесу має поширюватися не лише на когнітивну сферу (як це зазвичай має місце в більшості наукових досліджень у галузі методики), а й враховувати ціннісну та особистісно-зорієнтовану складові, тобто охоплювати також емоціональну (афективну) частину цілей.

Групою американських вчених, очолюваних Б. Блумом (B.S.Bloom, 1913—1999), у 1956 році було запропоновано ієрархічну систему педагогічних цілей, яка згодом отримала назву “таксономія Блума” [344].

Таксономія Блума вперше враховувала в цілепокладанні три сфери: когнітивну, афективну і психомоторну. Такий підхід є на часі, оскільки дозволяє проектувати компетентнісно орієнтовані освітні технології. Ця таксономія отримала уточнення і доопрацювання [343].

Як філософська категорія, мета — це передбачення у свідомості людини результату її практичної діяльності, фіксація бажаного, певних прагнень [171]. У педагогіці цілі освіти визначаються як ідеальні прогнозовані результати педагогічної освітньої діяльності [84, с. 989]. С.У. Гончаренко мету (ціль) навчання визначав як “ідеальне передбачення кінцевих результатів навчання; те, до чого прагнуть учитель, учні” [58, с. 205]. А.С. Нісімчук, О.С. Падалка і О.Т. Шпак загальну мету навчання визначають як деяку синтетичну категорію, що охоплює такі аспекти педагогічної взаємодії: когнітивний (система цілей, що передбачають мотиваційний бік навчального процесу, запам'ятовування та відтворення навчального матеріалу у стандартних та змінених (нових) умовах тощо); емоційно-ціннісний аспект, до якого відносяться цілі формування особистісного ставлення до явищ оточуючого світу; психологічний аспект (система цілей, пов'язаних із формуванням певних видів моторної маніпулятивної діяльності (мовні навички, навички письма тощо); операційно-діяльнісний аспект — цілі, що коригують “структуру педагогічної взаємодії” [168 с. 105].

В.В. Краєвський і А.В. Хуторський цілі навчання покладають за основу класифікації дидактичних закономірностей. З метою впорядкування різних дидактичних та методичних закономірностей

навчання, ними запропоновано їхні класифікації за ознаками, що становлять собою певний набір дидактичних компонентів і зокрема цілі навчання. До закономірностей цілей навчання цими вченими віднесено:

- ефективність освітнього процесу визначається гармонією і збалансованістю цілей різних рівнів: загальнолюдських, державних, громадських, національно-регіональних, шкільних, учительських, батьківських тощо;
- освітня продуктивність учнів зростає, якщо вони свідомо беруть участь у визначенні цілей навчання, вибору його технологічних елементів, у створенні особистісного компоненту змісту освіти;
- цілі кожного нового етапу навчання визначаються рівнем досягнення цілей попереднього етапу і особистісними особливостями учнів у динаміці їхнього розвитку [119 с.80—82].

Освітні цілі виконують системоутворюючу функцію педагогічної діяльності. Найчастіше від вибору мети залежить відбір змісту, методів та засобів навчання. Тому цілком природною виглядає спроба класифікувати цілі навчання. Зазвичай, у методичній літературі можна зустріти рекомендації щодо умовного поділу мети навчання на три групи: 1) освітню — озброєння учнів науковими знаннями, спеціальними й загальнонавчальними вміннями та навичками; 2) розвиваючу — розвиток мислення, пам'яті, творчих здібностей тощо; 3) виховну — формування світогляду, моральних переконань, екологічне виховання тощо [58]. Автори [168] цілі навчання і виховання поділяють умовно на три категорії: глобальні (держзамовлення), стратегічні (тактичні) та процедурні цілі (виконання операцій і дій на кожному етапі циклу виховання). На практиці, цілі навчання виражають у три способи [83, 93, 179]: 1) мета уроку довільно визначається учителем без використання якої-небудь класифікації; 2) описова класифікація, що лише співвідносить цілі, вказує напрямок навчальної діяльності, проте немає чітко визначених критеріїв, за якими можна оцінити результати навчального процесу; 3) класифікація, що враховує комплексний підхід до формування цілей навчання і дозволяє вимірювати окремі результати.

Аналіз літератури свідчить, що класифікація цілей навчання може здійснюватись за якими завгодно ознаками, а відтак утворених таким чином класів або систем класифікацій може бути як завгодно багато. За мотивом визначають довільне і мимовільне

цілепокладання. За обсягом цілі можуть бути конкретними і абстрактним. За значимістю цілі поділяють на загальні, глобальні, генеральні, окремі, стратегічні, оперативні, кінцеві, проміжні [84]. Цілі можуть класифікуватися за змістом (інтелектуальний розвиток, розвиток вольових якостей та ін.), за часовим проміжком (короткочасні цілі або довготривалі, задача-мінімум, задача-максимум тощо), за формою (індивідуальні або групові, парні цілі) тощо. Проте усі можливі класифікації залишаються формальними, а множення різних цілей-задач лише поглиблює рівень формалізму у цілепокладанні. Наприклад, відома глобальна мета з формування всебічно та гармонійно розвинутої особистості залишилась догматичною і далекою від досягнення саме внаслідок величезної кількості “потрібних” якостей, які слід формувати у дітей. Поступове збільшення кількості напрямків із формування і розвитку якостей особистості зрештою формалізувало зміст цілі з розвитку гармонійно розвинутої особистості [215].

Методологія педагогіки вибудовує ієрархію цілей виховання і навчання через множинність результатів формування особистості та співвіднесенням мотивів окремих учнів з зовнішніми установками, які визначаються суб'єктами навчального процесу.

У загальному вигляді освітні цілі визначаються як соціальне замовлення держави. З наближенням до навчального процесу мета трансформується у більш конкретні напрями, зберігаючи головний задум та ідею. Через нормативні документи система загальних цілей уточнюється, окреслюються відповідні субцілі, що відповідають певним галузям освіти (гуманітарний, технологічний, природничо-математичний тощо). Внаслідок цього загальні цілі викристалізуються у систему навчальних цілей, що відповідають сумі знань, умінь і навичок, якими повинен оволодіти учень згідно навчальних програм. До цих цілей включають: знання, основні уміння і навички із застосування знань, основні інтелектуальні операції, набуті під час навчання тощо. Цілком зрозуміло, що така трансляція соціального замовлення в педагогіку створює передумови існування цілепокладання в безсуб'єктній формі, а це породжує нормативно-догматичне пред'явлення цілей навчання у практиці масової школи.

Готуючись до уроку, учитель обирає із наперед відомого переліку цілей певну мету і визначається із завданням, яке слід розв'язати під час уроку. Ціль-завдання (дидактична ціль), як правило, покладається в основу для обрання адекватних методів навчання та форм

організації навчальної роботи (відповідно здійснюється вибір структури і типології уроків тощо). Тому незважаючи на конкретизацію і звуження цілей до рівня окремих предметів, розділів і тем курсу, вони втрачають свою значимість і дозволяють учителю вільно вписувати у план-конспект уроку мету, за виконання чи невиконання якої можна особливо не перейматися. Такий стан підтверджений опитуваннями і бесідами, проведеними серед учителів фізики. Більшість респондентів (89% від загальної кількості) заявили, що вписування мети у план-конспект уроку — формальність, якої слід дотримуватися. Про нігілізм цілей у педагогіці стверджують більшість дослідників цієї проблеми. Зокрема В.П. Зінченко відзначає: “Цілі або приймаються, або ні. Навіть коли вони приймаються вчителем, школою, це ще не означає, що вони будуть досягнуті. В це “рівняння” входить ще учень, який їх або приймає, або тихо відходить від них займатися своєю справою...” [96, с.18].

Підсумовуючи проведений аналіз, слід виокремити три характерних риси цілепокладання у практиці вітчизняної школи:

6. жорстка детермінація системи навчальних цілей на рівні документів, що регламентують навчальний процес;
7. ідеалізація, узагальненість і масштабність цілей навчання;
8. відокремлення учня від процесу встановлення і визначення цілей навчання (конспірація педагогічних цілей).

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що цілепокладання має проходити у три етапи.

Перший пов'язаний із формулюванням цілей навчання як прагнення педагогічної спільноти до певних ідеальних орієнтирів, що описуються у змісті нормативних документів (наприклад, у стандарті базової середньої освіти). В цьому випадку мова йде про ідеальну (директивну) мету, яка повсякчас має характер “суспільного замовлення”. Традиційно, на цьому етапі цілеутворення, суб'єкти педагогічної діяльності відчужені від цього процесу, а тому механізм утворення цілей залишається сповна об'єктивним відносно навчального процесу, приймаючи різні форми, — метазаповнення, метазавдання, метадержаповнення тощо.

Другий етап цілепокладання пов'язаний із формуванням системи реальних (практичних) цілей, що базуються на загальних, директивних цілях. Йдеться про те, що на цьому етапі формується сукупність реальних цілей (відображених в навчальних програмах), які повинні бути нерозривно пов'язаними з ідеальними цілями.

Третій етап передбачає конструювання і планування навчального процесу методистами, учителями з опорою на практичні цілі навчання і вироблення на їх основі навчальних субцілей конкретних уроків при вивченні певних тем або розділів курсу фізики.

Загальновизнаним є той факт, що цілепокладання на двох останніх етапах має яскраво виражений безсуб'єктний характер, коли вважалося, що педагогіка, як і її галузь — методика, не виробляє, а лише отримує цілі у вигляді соціального замовлення. Оскільки ідеальну ціль реалізувати неможливо, з усіх директивних цілей залишалась найбільш реальною мета — формування суми знань. Згодом, у методичній літературі почала превалювати відкоректована в руслі знанєвої парадигми триєдина мета, про що вже згадувалося вище. Проте, це не вирішувало головної проблеми — відрив ідеальної цілі від реальної, що було наслідком відлучення суб'єктів педагогічної діяльності від цілеутворення. Поки панувала знанєва парадигма, основна увага у цілепокладанні була суто формально зосереджена на формуванні знань, умінь і навичок, а на практиці головним критерієм ефективності навчального процесу були знання. Формувати в учнів уміння застосовувати знання лише декларувалося у відповідних нормативних документах. Ідеологія знаннєвого підходу у навчанні дозволяла тривалий час ігнорувати вказаний розрив між ідеальними та реальними цілями. Згодом це привчало вчителів формально вписувати мету до планів уроків. Саме цим можна пояснити результати опитування, викладені вище.

Із поступовим відходом від знаннєвої парадигми, постала проблема визначення нових орієнтирів — формування особистості, розвиток таких її якостей, які стануть необхідними для професійної діяльності в майбутньому. Проте нові цілі лише посилили поліфонію думок, а спроби розібратися в методичних підходах реалізації нових цілей призвели до плутанини і утворенні нових підходів, які за традицією радянської школи не передбачали суб'єктивізації цілепокладання. На кінець 80-х і початок 90-х років деякими дослідниками зрештою було визнано сумний факт — відсутність цілепокладання на рівні практики школи. Зокрема, В.П. Беспалько у 1989 році відзначав: "... в сучасній загальноосвітній школі була втрачена основна мета її роботи. В хрестоматійній педагогічній літературі ми не виявили конкретного опису цілей загальної освіти ні в цілому для усієї шкільної системи, ні для будь-якої її частини. Минаючи опис цілі, педагоги відразу спрямовують свої зусилля на

конструювання навчальних планів, програм, посібників та інших навчально-методичних засобів.” [12 с. 29]. Чому ж пересічний учитель діяв настільки нелогічно, минаючи цілепокладання і відразу приступав до розробки планів навчального процесу? Відповідь очевидна: тогочасна система освіти не передбачала участі учителя у механізмі утворення цілі. Учителі-новатори (Ш.О. Амонашвілі, М.П. Гузик, О.А. Захаренко, Є.М. Ільїн, В.Ф. Шаталов та багато інших), які у своїй педагогічній діяльності виходили (і виходять) за рамки знаннєвої системи, підкреслюють необхідність визнання цілі як основного системоутворюючого фактору будь-якої методичної системи чи педагогічної технології.

Як досягти поставлених цілей навчання? Чи можливо уникнути формалізму у цілепокладанні? Аналіз літературних джерел із цієї проблеми наштовхнув нас на думку про те, що відповіді на ці та схожі питання слід шукати у контексті вивчення закономірних взаємозв'язків між ціллю і засобами навчально-виховної діяльності.

У науковій та методичній літературі можна зустріти два тлумачення поняття “закономірність”. Згідно з першим воно є поняттям більш широким і загальним, ніж закон. Закономірність у такому разі — загальна впорядкованість явищ природи або певних процесів, у межах якої слід виокремлювати закони (загальні закони, спеціальні закони тощо). Інша точка зору визначає закономірність як недостатньо точно пізнаний закон, що відбиває певну упорядкованість явищ або стійкість факторів, що впливають на об'єкт чи систему. У педагогічній літературі загальноприйнятим є саме другий підхід до розуміння поняття закономірності [61]. Чому важливо керуватися закономірностями при вивченні проблеми цілепокладання у навчальному процесі? Для відповіді на це питання слід усвідомити різницю між законами і закономірностями, яка у філософському сенсі є суто гносеологічною. Процес пізнання певного об'єкту чи явища передбачає з'ясування системи частин, компонентів, відомих або невідомих факторів, які входять до досліджуваного об'єкту. У випадку педагогічного явища, вказані компоненти функціують за певних умов — соціальних, психологічних, дидактичних, методичних тощо. Наявність зв'язків та залежностей між цими компонентами і складовими цілісного явища, що вивчається, й виступає закономірністю, яка власне описує досліджуване явище або об'єкт. Отже, закономірність як поняттєва категорія постає неповним і не до кінця пізнаним закон. Згодом, коли

дослідник глибше усвідомить досліджуване явище, врахувавши усі можливі зв'язки і залежності між його складовими частинами та умовами функціонування, настає друга стадія пізнання, ще глибша за рівнем абстрагування — формулювання закону, що являє собою найвищу стадію узагальнення залежностей і зв'язків педагогічного явища. Таким чином, коли дослідник виявляє закономірності (які є продуктом емпіричного досвіду та шкільної практики), відбувається абстрагування від конкретних цілей навчального процесу, від намірів суб'єктів педагогічної діяльності. Завдяки цьому абстрагуванню розкриваються об'єктивно існуючі, незалежно від свідомості учасників педагогічної діяльності, незмінні у часі закономірності педагогічного процесу в цілому. Це дозволяє стверджувати, що закономірність виступає *характеристикою навчального процесу*, яка інваріантна відносно цілей навчання (і не тільки цілей, а й інших факторів). Спираючись на закономірність, можна вивчати навчальний процес відносно цілепокладання у чистому вигляді без впливу цілі, яка іноді спотворює результат педагогічного впливу. Тому і вивчення впливу цілепокладання на результати педагогічного процесу можна чітко виокремити і з'ясувати, як і чому чи до якої міри особливим чином організована методика цілеутворення впливає на результати навчального процесу.

Загальновизнано, що успішність у реалізації цілей навчання прямо залежить від способу цілепокладання. Спираючись на останню тезу, можемо сформулювати наступне припущення: *успішна реалізація мети навчання залежить від способу таксономії навчальних цілей*.

Дефініцію освітньої цілі (мети) найчастіше здійснюють через класифікацію останньої. У зв'язку з цим таксономію можемо розглядати як процес розбиття множини цілей на класи за певною ієрархічною структурою. Тому постановка цілі процесуально включатиме не лише усвідомлення її змісту, а й визначення її місця у вказаній ієрархії. Структура цієї ієрархії мусить корелювати із певними актами навчальної діяльності учнів і педагогічної діяльності учителя, інакше мета (ціль) за змістом залишатиметься формальною і пройде поза увагою учня, а відтак *de facto* буде нереалізована, хоч би й *de iure* відображеною у відповідних нормативних документах.

3.1.2. Особливості компетентнісно-орієнтованої методичної системи навчання квантової фізики

Напрявленість теоретичної моделі зумовлена застосуванням компетентнісного підходу у навчанні. Це вимагає не лише перегляду цілей і змісту навчання, а й кардинальної перебудови навчальної діяльності з огляду на особливості формування відповідних фізичних понять, розвитку умінь і навичок, необхідних для набуття учнями навчальних компетентностей. Як саме трансформується навчальна діяльність у зв'язку з формуванням компетентностей? Для того, аби відповісти на дане питання, необхідно проаналізувати зміст поняття “навчальна діяльність” у контексті компетентнісного підходу.

Навчальна діяльність є, власне, різновидом людської діяльності. У філософському контексті діяльність взагалі — це спосіб буття людини у світі, при якому людина вносить у дійсність зміни [61, с.98]. Універсальним предметом людської діяльності є природа і суспільство, а її загальним наслідком — олюднена природа (результат діяльності) [там само]. Компонентами діяльності є суб'єкт із відповідними потребами і цілями щодо перетворення дійсності, та об'єкт — предмет цього перетворення. До компонентів діяльності належать також засіб реалізації мети. У ході історичного поступу для взаємодії із соціальним середовищем і природою людина оволодівала все більш складнішими засобами виробництва. З розвитком суспільства накопичувався соціальний досвід взаємодії людини і засобів перетворення Природи. Згодом цей досвід передавався наступним поколінням у процесі навчання, а відтак навчальний процес є глибоко соціальним явищем, суть якого — передача соціального досвіду. Водночас досвід завжди заснований на певній діяльності. Таким чином, навчальна діяльність тісно пов'язана із особливостями засвоєння знань, досвіду та різних форм спілкування з іншими людьми (педагогами і учнями), а тому має множину характеристик і властивостей, дослідити які можливо у контексті онтогенезу особистості.

Проведений аналіз літератури, підтверджує зазначену тезу. Серед науковців — психологів, педагогів, дидактів, методистів, — не існує одностайної думки щодо сутності та структури навчальної діяльності. Найбільш поширеною є думка про те, що навчальна діяльність — це поєднання (взаємодія) двох діяльностей — вчителя і учнів (А.М. Алексюк, Г.С. Костюк, В.Онищук, С.П. Бондар та інші). Натомість Д. Ельконін, В. Давидов, Н. Тализіна сутність навчальної

діяльності вбачали в опануванні учнями способів розумових дій. М.М. Скаткін і В.В. Краєвський відзначають, що в ході навчальної діяльності передається не сама соціальна діяльність та відповідні відношення, "...а їх модель, схема, загальні принципи, норми" [77, с.131]. Тому важливою характеристикою навчальної діяльності, як одного з видів суспільної діяльності, є присвоєння суб'єктом предметного об'єкту як на рівні привласнення інформації про нього, так і в сенсі засвоєння певних схем і моделей суспільно виробленого способу дій з об'єктом і на підставі цих моделей ознайомлення з новими предметами зовнішнього світу. Отже, з точки зору дидактичного аналізу маємо розглядати навчальну діяльність не лише в термінах взаємодії учителя (суб'єкту) і учня (об'єкту навчання), а враховувати усю сукупність факторів, що впливають на процес формування знань, умінь і навичок. Саме тому у дидактиці загальноприйнятим був підхід, коли викладання пов'язувалось не з діяльністю окремого учителя, а із загальною діяльністю усіх тих, хто займається навчанням і, таким чином, співвідносили викладацьку діяльність із колективним суб'єктом.

Навчальна діяльність завжди була предметом дослідження в царині педагогічної психології [148]. Вітчизняний доробок цієї проблематики представлений головним чином науковими школами Л.С. Виготського, Г.С. Костюка і С.Л. Рубінштейна. Поняття навчальної діяльності у різних концепціях учіння, структурно і функціонально розроблялися з опорою на культурно-історичну теорію розвитку психіки. Послідовники цієї теорії розглядали розвиток вищих психічних функцій як процес залучення дитини до соціально-предметних діяльностей, інтеріоризація яких визначає формування базових структур психіки. Вперше принцип інтеріоризації введений у психологію П. Жане. За Л.С. Виготським будь-яка вища психічна функція у розвитку дитини проявляється двічі — спочатку як діяльність колективна, соціальна діяльність, як інтерпсихічна функція, і вдруге як діяльність індивідуальна, як внутрішній спосіб мислення дитини, тобто як функція інтрапсихічна [46, с.15—16]. Це положення було також підтверджено у дослідженнях Піаже щодо розвитку у дітей моральних суджень — останні виникають у результаті особливого виду колективної діяльності — співробітництва.

У сучасній вітчизняній психології усталеним є визначення навчальної діяльності з опорою на такі поняття як навчання,

научіння, учіння, засвоєння, мотивація, навчальна задача.

Думки вчених щодо дефініції навчання різняться і залежно від теоретичних позицій авторів, її визначають як:

- колективну діяльність, що охоплює викладання й учіння;
- спеціально організований процес управління навчальною діяльністю школярів, спрямований на здобування знань та оволодіння необхідними навичками та вміннями;
- цілеспрямовану взаємодію вчителя та учнів, у процесі якої школярі засвоюють знання, формують навички і вміння;
- взаємообумовлену діяльність вчителя та учня, у процесі якої відбуваються засвоєння знань, навичок і вмінь та формування властивостей особистості;
- процес передавання підростаючому поколінню суспільно-історичного досвіду людства [274].

Більшість учених розглядають научіння людини як учіння, оскільки в ході цього процесу відбувається цілеспрямоване та свідоме присвоєння нею суспільно-історичного досвіду (Й. Лінгарт, Г. Клаус, Л. Ітельсон та ін.). Російський психолог І. Ільясов, розглядаючи структурну організацію учіння і проаналізувавши різні тлумачення цього поняття, виокремив такі його аспекти як: здобування знань і вміння застосовувати їх на практиці для розв'язування відповідних задач (Я.-А. Коменський); отримання знань і розв'язання проблем із опорою на отримані знання (К. Ушинський); удосконалення пізнавальних процесів під час засвоєння знань і вмінь (Й.-Ф.Гербарт); активний мисленнєвий процес, що актуалізується під час розв'язання проблемних ситуацій (Дж. Дьюї); активний процес внутрішньої самодіяльності учня, який є проявом педагогічного процесу (П. Каптерев); зміна поведінки відповідно до зміни діючого стимулу (стимул-реакція) (Дж. Вотсон) або робота стимулу за схемою “стимул—відповідна реакція” з обов'язковим підкріпленням (Е.-Л. Торндайк, Б.-Ф. Скіннер); поступову зміну змісту відображення предметів дійсності у зовнішньо-руховій, чуттєво-образній та символічній формах (Дж.-С. Брунер) та інші [103].

Із позицій сучасної вітчизняної педагогічної психології учіння визначається в рамках вже згадуваної вище культурно-історичної теорії розвитку психіки. Відповідно до цього, учіння — специфічна форма індивідуальної активності, що спрямована на засвоєння знань, формування навичок та вмінь і розвиток якостей самого учня. Таке

означення відповідає діяльній концепції учіння, засновником якої є Л.С. Виготський, який вважав учіння специфічним видом діяльності, коли відбувається формування психічних новоутворень через присвоєння людиною (дитиною) культурно-історичного досвіду людства. Оскільки основний зміст людського досвіду зафіксований у поняттях, то процес його засвоєння, опосередкований мовленевою діяльністю, супроводжується формуванням і розвитком вищих психічних функцій. І основним механізмом їх утворення виступає інтеріоризація — перетворення зовнішніх предметних дій, спрямованих на оволодіння досвідом, у внутрішні розумові дії. Л.С. Виготський підкреслював, що для засвоєння соціального змісту понять потрібно мати не тільки об'єкт, а й належно організоване спілкування. Інакше кажучи, джерела розвитку дитини знаходяться по за нею, в її діяльності, що спрямована на освоєння способів набування знань. Розвиваючи ідеї культурно-історичної теорії, О.Леонтьєв, П. Гальперін, Л. Занков, Д. Ельконін, В. Давидов та інші вчені, розробили концепції учіння, в яких розвинули положення Л. Виготського про стадіальність у розвитку вищих психічних функцій та інтеріоризацію як основний механізм їх становлення. Так, погоджуючись із Л. Виготським щодо необхідності об'єкту і спілкування для засвоєння понять, О. Леонтьєв зміщував акцент на діяльності учня з об'єктом, яка має ним спрямовуватися. Це означає, що засвоєння розпочинається із зовнішньої практичної діяльності учня з об'єктами, яка поступово, у міру оволодіння нею, переходить у внутрішню розумову діяльність з образами і поняттями. Таким чином, у процесі учіння учень повинен засвоїти основні характеристики об'єкта та способи дії з ним як історично набутого досвіду через адекватну навчально-пізнавальну та практичну діяльність, спрямовану на пошук істотних властивостей об'єкту та відповідних дій з ним. Загалом, психологічна теорія діяльності, розроблена О. Леонтьєвим, спиралась на такі концептуальні положення:

- Цілісна діяльність суб'єкту як органічна система у всіх її формах та видах, в їх взаємних трансформаціях, в її філогенетичному, історичному і онтогенетичному розвитку є предметом психології.
- Генетично первинною і основною є зовнішня, предметна, чуттєво-практична діяльність, від якої походять усі види внутрішньої психічної діяльності індивідуальної свідомості;

обидві форми мають суспільно-історичне походження та принципово спільну структуру.

- Структурними одиницями навчальної діяльності є взаємоперетворювані одиниці: потреба — мета — умови та відповідні до них діяльність — дії — операції.
- Діяльність супроводжується двома головними процесами — інтеріоризацією її зовнішньої форми у суб'єктивний образ дійсності та екстеріоризацією її внутрішньої форми як результат перетворення образу у предмет.
- Діяльність детермінується предметом, потім вона опосередковується та регулюється її образом.
- Предметний характер діяльності реалізується через необхідність суб'єкта, яка переходить у потребу.
- Діяльність та її складові за певним законом розділяються і об'єднуються, що відповідає диференціації та інтеграції орієнтуючих їх суб'єктивних образів.

З опорою на вказані концептуальні положення було розроблено теорії навчання, що спиралися на філософську методологію сенсуалізму та емпіризму і передбачали зв'язок абстрактного пізнання з чуттєвим досвідом, який виступає в ролі ланцюжка між наочними образами та словесним вираженням узагальненого. Саме тому вважалося, що вирішальну роль при абстрагуванні відіграє слово. Прихильниками цих поглядів у психології підкреслювалося, що засобом реалізації поняття є система словесних знаків, яка звільняє пізнання від детермінованої належності до реальних предметів і дозволяє віддзеркалювати загальні зв'язки, структури та відношення речей безпосередньо. Абсолютизування слова як накопичувача суспільного досвіду і знань призвело до уявлення про мисленеві операції як результат заміни реальних дій з предметами на ідеальні дії з поняттями. Насправді ж така заміна є не формуванням поняття, а лише “підведенням під поняття”. Таким чином, застосування даного підходу в навчанні фізиці реалізує індуктивно-споглядальні принципи пізнання. Причому повністю ігнорувалася діяльнісна основа мислення учнів. Цього недоліку була позбавлена теорія поетапного формування розумових дій і понять, запропонована П.Я. Гальперіним і згодом суттєво доопрацьована ним і Н.Ф. Талізіню.

Однією з особливостей навчальної діяльності є дуальність

об'єкту навчального процесу. Учень одночасно перебуває в якості об'єкту і суб'єкту навчання. З дидактичної точки зору це означає єдність навчання і учення. Вказана єдність знаходить свій прояв в усіх дидактичних відношеннях, але не обмежується ними. Так, елементарним проявом єдності навчання і учення є конкретна взаємодія учителя та учня в навчальному процесі. Вона закладена в програмах, підручниках, що відбиває її соціальну сутність. Взаємодіючи із навчальним матеріалом, учень змінює його відносно себе, засвоюючи його, привласнюючи через практичне застосування і перетворюючи таким чином на власні знання.

Учень — об'єкт навчання і водночас суб'єкт учення. У цьому проявляється активність учня, тому шляхи реалізації суб'єктивної складової навчальної діяльності є головним засобом підвищення ефективності навчального процесу взагалі. Надалі зосередимось на учневі як на суб'єкті навчального процесу, який є водночас об'єктом навчання. З огляду на це проведемо порівняльний аналіз навчальної діяльності учня, з одного боку із засвоєння знань, а з іншого — набуття ним відповідних компетентностей.

Як вже відзначалося вище, отримання компетентності не зводиться до набуття знань, а тому навчальна діяльність учнів у рамках знаннєвого підходу відрізнятиметься від навчальної діяльності, організованої в межах компетентнісно орієнтованих освітніх систем. Якщо головна мета — отримання знань, то навчальна діяльність спрямована на їх засвоєння, закріплення на практиці, застосуванні набутих знань для розв'язування практичних завдань і задач. Загальноприйнятим є підхід, коли формування знань здійснюється як першочергова задача-ціль, а їх застосування на практиці є другорядним завданням. Формування компетентностей, на наш погляд, вимагає зміщення акцентів із формування знань на набуття досвіду із застосування цих знань на практиці. Це не означає нівелювання знань у навчальному процесі, але відмова від формування знань заради їх накопичення. Отже, навчальні цілі слід співвіднести із особистими цілями учня, його вибором майбутньої професії, зрештою, врахувати його інтереси. Навчальна діяльність, спрямована на формування компетентностей, повинна моделювати образ дій, які учень виконуватиме в майбутньому, після того, як обере відповідну професію. Зрозуміло, що вказані дії неможливо відтворити точно, проте вони можуть бути відтворені в адекватній навчально-пізнавальній і практичній діяльності, яка не повторюватиме тотожні

професійні дії робітника чи спеціаліста, але призведе учня до набуття ним інтелектуальних якостей, уміння приймати відповідні рішення, застосовувати знання співвідносно власного досвіду та ціннісних орієнтирів, які притаманні певному виду професійної діяльності. Такий підхід можливий тому, що індивідуальний пізнавальний досвід складається з ментального простору відображення дійсності та понятійних психологічних структур і це уможливорює формування освітніх компетентностей в шкільній практиці. Отже, освітні компетентності не відображають сповна компетентність робітника чи фахівця тієї професії, яку учень обере в майбутньому. Однак у процесі навчання деякі складові цих фахових компетентностей можуть входити до складу освітніх компетенцій, які окрім цих складових містять в собі предметно-діяльнісну основу, що визначена відповідними нормативними документами.

Водночас, структурно навчальна діяльність із формування компетентностей відрізняється від традиційної навчальної діяльності складнішим набором компонентів та способів і засобів їх досягнення. Так, знанєва парадигма передбачає формування знань, тому головним елементом навчальної діяльності є їх засвоєння, яке в контексті педагогічної психології можна розуміти як об'єднання та інтеграцію нової інформації із отриманою раніше. Тут маємо застосування знань лише на рівні “припасування” нових відомостей до вже відомих і добре зрозумілих учневі. Учні за такого навчання швидше не готові зустрітися із новими проблемними ситуаціями та успішним їх вирішенням у реальних виробничих умовах, коли знання неможливо застосувати або вони не можуть бути застосованими в силу об'єктивних причин.

Структура навчальної діяльності, що репрезентує знанєвий підхід, має змістовий, операційний, мотиваційний та контролюючий компоненти. Змістовий компонент віддзеркалює знання, які повинен засвоїти учень. Вважається, що для підвищення якості та продуктивності навчальної діяльності із засвоєння знань, необхідно також ознайомлювати учнів із способами дій, якими вони будуть користуватися для засвоєння відповідних відомостей і законів. У цьому полягає операційний компонент навчальної діяльності. Теорія П. Гальперіна і Н. Талізінної — яскравий приклад теорії, що враховує вказану складову. У діях, як основі навчальної діяльності, вони виокремили три складових — орієнтовну, виконавчу і контрольну.

Мотиваційний компонент є важливою передумовою успішності

навчання учнів, оскільки визначає інтереси і уподобання кожного з них. У педагогічній психології доведено, що загальна мотивація до навчання формується поступово і розвивається під впливом навчальної діяльності. Сформованість навчальної мотивації проявляється у внутрішньому ставленні до учіння, усвідомленні його особистої значущості.

Загалом структура розглядуваної навчальної діяльності підпорядкована формуванню знань. Операційна та мотиваційна складові напрямлені на підвищення рівня засвоєння знань. Цим обумовлена головна спрямованість способів дій, через які реалізується активність учня — розуміння і заучування, сприймання та осмислення навчальної інформації, з'ясування й орієнтування в навчальному матеріалі та його опрацюванні.

Проте описані компоненти не є вичерпними, оскільки навчальна діяльність — складне педагогічне явище, яке торкається різних аспектів навчального процесу. З точки зору реалізації функцій навчальної діяльності, в ній розглядають цілу множину складових — інформаційну, мотиваційну, організаційну, оцінювально-контролюючу та інші. В контексті результатів діяльності учня виокремлюють два основних компоненти — усвідомлення змісту та його засвоєння. За тим, на скільки усвідомлено і повно учень засвоїв знання, оцінюють успішність його навчання. Якщо навчальну діяльність розглядати відносно діяльності як головного інструментарію засвоєння, то вказують на дві групи дій та операцій: а) пізнавальні дії емпіричного і теоретичного рівнів та відповідні операції, що їх утворюють; б) дії, що забезпечують використання знань у практичній діяльності учнів.

Таким чином, можемо стверджувати, що структура нової навчальної діяльності, яка спрямована на формування компетентностей суттєво відрізняється від традиційної навчальної діяльності тим, що визначається системою методів навчання та освітніми технологіями, що орієнтовані на формування компетентностей. У свою чергу, структура компетентностей та їх функцій визначають систему методів і технологій, які покликані сформувати в учнів не відокремлені одне від одного знання й уміння, а здатності до використання їх у комплексі.

3.1.3. Технологія проектування методичної системи формування предметної компетентності старшокласників із квантової фізики

Як було показано вище, теоретична модель пропонованої методичної системи повинна відповідати критерію *технологічності*, що вимагає відтворюваності даної моделі, дотримуючись передбачених вимог (критеріїв). Для їх визначення нами було запропоновано наступну технологію проектування методичної системи формування предметної компетентності з квантової фізики. Дослідниками компетентнісного підходу у навчанні доведено, що в основі відбору та конструювання системи методів навчання лежить структура відповідних компетентностей та функцій, що вони виконують [318]. Застосування методів, відібраних у такий спосіб, вибудовує таку навчальну діяльність учнів, у ході якої вони набувають не лише знань і умінь, а компетентностей, тобто набутих у процесі навчання інтегрованих здатностей — знань, умінь, досвіду, цінностей і ставлень, які цілісно реалізуються на практиці шляхом розв'язання навчальних задач. Проте, на наше глибоке переконання, конструювання навчального процесу з формування компетентностей недостатньо розглядати лише на рівні відбору методів навчання. Це пов'язано з тим, що компетентність учня включає не лише когнітивну або операційну складові (як при знаннєвому підході), а й мотиваційну, ціннісну, етичну тощо. Таких складових можна назвати безліч. Наприклад, Дж. Равен розробив модель із 143 елементів. За такої ситуації формування компетентностей є рівнянням з нескінченною кількістю невідомих. Для усунення цієї перешкоди пропонуємо розглядати формування компетентностей не з позиції відбору методів навчання, а спираючись на конструювання методичної системи із наперед відібраними освітніми технологіями.

Обґрунтуємо критерії для конструювання методичної системи навчання квантової теорії на засадах компетентнісного підходу. З цією метою окреслимо таксономію компетентностей, зокрема місце предметної компетентності з квантової фізики у системі ключових і навчально-пізнавальних компетентностей. Потім визначимо технологію проектування методичної системи, з якої виходитимуть концептуальні положення відбору методів навчання квантової фізики у старшій школі. Для цього:

- окреслимо змістову компоненту предметної компетентності в частині квантової фізики;

- визначимо функції компетентностей у навчанні квантової фізики;
- визначимо структуру компетентності з квантової фізики (назва, тип, об'єкти відносно яких вводиться компетентність, способи діяльності у відношенні обраних об'єктів);
- окреслимо дерево компетентностей.

Проведений раніше аналіз компетентнісного підходу (див. розділи I—II) дозволяє стверджувати, що його категоріальна база пов'язана:

По-перше з ідеєю цілепокладання освітнього процесу, коли компетенції стають головною загальною метою (надметою), що об'єднує отримання знань і умінь у новому контексті — застосування їх у комплексі для отримання нового досвіду;

По-друге, зміст освіти у світлі компетентнісного підходу виражається чотирьохкомпонентною моделлю: 1) знання; 2) уміння; 3) досвід розв'язування завдань (задач, проблемних ситуацій, творчих завдань тощо); 4) досвід ціннісного ставлення до отриманих знань і умінь та досвіду їх використання.

Спираючись на ці висновки, розглянемо таксономію компетентностей, формування яких можливе при вивченні квантової фізики у старшій школі, що дозволить розробити конкретні методичні прийоми і методи з формування відповідних компетенцій.

Вказана таксономія заснована на існуючій на сьогодні ієрархії компетентностей у навчанні, що пов'язана з його змістом. Тобто, ознакою класифікації компетентностей виступає зміст освіти. Традиційно зміст освіти поділяється на три рівні: загальнопредметний зміст (для усіх предметів); міжпредметний (для окремих циклів предметів) і предметний (для окремих навчальних предметів). Аналогічно вказаним рівням, склалась ієрархія компетентностей у навчанні відповідно до різних рівнів змісту освіти:

1. Ключові (базові або метапредметні) компетентності — належать до загальнопредметного змісту освіти.

2. Загальнопредметні компетентності — стосуються до певного циклу предметів, наприклад, природничо-математичного.

3. Предметні компетентності — часткові щодо ключових і загальнопредметних та формуються у межах конкретного навчального предмету.

У нашому дослідженні ми спираємось на результати діяльності робочої групи українських науковців і практиків (кер. О. Савченко,

Н. Бібік, Л. Ващенко, О. Локшиної, О. Овчарук, Л. Парашенко, О. Пошетун, С. Трубакової), якою розроблялися теоретичні і прикладні питання запровадження компетентнісного підходу в освіту України. Цими дослідниками запропоновані наступні ключові компетентності у навчанні:

- навчальна (уміння вчитися);
- громадянська;
- загальнокультурна;
- інформаційна;
- соціальна;
- здоров'язберігаюча [84, с. 408].

Державним стандартом базової і повної загальної середньої освіти ключовими компетентностями визначено: уміння вчитися, спілкуватися державною, рідною та іноземними мовами, математична і базові компетентності в галузі природознавства і техніки, інформаційно-комунікаційна, соціальна, громадянська, загальнокультурна, підприємницька та здоров'язбережувальна компетенції [76].

До загальнопредметних компетентностей нами віднесено знання і уміння, яких повинні набути учні згідно загальноприродничого компоненту державного стандарту: уміти застосовувати експериментальні та теоретичні методи пізнання фізичних явищ і процесів, набуті знання у різних сферах життєдіяльності людини та приймати екологічно виважені рішення, виявляти ставлення та оцінювати динаміку, історичний характер розвитку сучасної фізичної картини світу, гармонійну взаємодію людини з навколишнім природним середовищем, роль фізичного знання у різних галузях людської діяльності та екологічні наслідки її впливу на навколишнє природне середовище [там само]. Вказані загальнопредметні компетентності віддзеркалюють уявлення про фізику як фундаментальну науку, вивчення методів пізнання якої дозволить розкрити роль фізичних знань у житті суспільства, розвитку техніки і технологій (зокрема нанотехнологій), розв'язання екологічних проблем.

Предметною компетенцією відповідно до державного стандарту нами обрано інтегральне поєднання наступних знань і умінь: знання і розуміння учнями основних фізичних теорій (зокрема квантової теорії), що характеризують рух та взаємодію, їх вплив на наукову картину світу, природу фундаментальних взаємодій, фізичну суть

явищ природи, фізичні основи техніки, виробництва, сучасних технологій; уміння застосовувати методи наукового пізнання, фізичні поняття, моделі, величини, рівняння та закони квантової фізики.

Функції компетенцій впливають із їх значимості та місця в освітньому процесі. Визначаючи їх відносно вивчення квантової фізики, ми виходили із уявлень про функції процесу освіти як педагогічної категорії, що має цілісну, поліфункціональну та полісмыслову структуру. З огляду на це, освіта як процес і водночас результат засвоєння системи наукових знань, практичних умінь і навичок, має три функції (за С.У. Гончаренком): людинотворчу, технологічну та гуманістичну. Ці функції органічно поєднуються із функціями компетентностей у навчанні. Так, людинотворча функція забезпечує певний рівень знань у поєднанні зі станом емоційно-вольової сфери, поведінкових орієнтацій, готовності до виконання різних соціальних ролей та видів діяльності. Технологічна функція відзеркалює формування навичок із різних сфер діяльності (від господарської до професійної), розвиток комунікативності в різних видах діяльності (соціальній, науковій, професійній тощо). Нарешті, гуманістична функція освіти забезпечує виховання людей в дусі миру, високої моральності, уважного і бережливого ставлення до Природи (екологічне виховання), розуміння пріоритетності загальнолюдських цінностей (життя, праці, самої людини тощо) [84, с. 614—615]. Дослідження функцій освіти і компетентностей у навчанні слід розглядати в їх єдності та взаємозв'язку ще й тому, що освіта являє собою процес зовнішнього впливу на засвоєння індивідом узагальненого, об'єктивного, соціального досвіду та цінностей.

На основі аналізу літературних джерел [9, 24, 61, 95, 170, 262, 318 та ін.] у межах пропонованої методичної системи нами виокремлено основні функції предметної компетентності з квантової фізики:

- поєднувати наукові поняття, що вивчаються у межах теми квантової фізики (квантова оптика, будова атома і атомного ядра, фізика елементарних частинок) та їх практичне застосування для розв'язування навчальних задач;
- визначати досвід предметної діяльності учня, необхідний для застосування законів квантової фізики стосовно до реальних об'єктів;
- представляти фундаментальні дослідження з квантової фізики як об'єкти оточуючої дійсності для цільового комплексного

застосування знань, умінь і способів діяльності;

- представляти собою інтегральні характеристики рівня навченості учнів як соціально затребуваних громадян, здатних до застосування отриманих знань і набутих умінь із квантової фізики у повсякденному житті відносно питань екології, ставлення до сучасних інформаційних та нанотехнологій, глобальних проблем людства, викликаних техногенним впливом та шляхи їх подолання тощо;
- бути умовою успішної реалізації особистісних орієнтирів учня в навчанні, що дозволяє подолати його відчуження від освітнього процесу.
- забезпечувати процес зовнішнього впливу на засвоєння індивідом досвіду у навчанні квантової фізики, певних норм (у вигляді ключових компетентностей) та цінностей.

Спираючись на визначені зміст, ієрархію та функції предметної компетентності з квантової фізики, визначимо її структуру. Структурні компоненти містять наступний перелік:

- Назва компетентності — предметна компетентність з квантової фізики.
- Тип компетентності щодо розробленої вище ієрархії компетентностей — часткова або предметна.
- Коло реальних об'єктів дійсності, у відношенні котрих вводиться ця компетентність — фундаментальні дослідження з квантової фізики (атомної і ядерної фізики, фізики елементарних частинок).
- Ціннісні орієнтації учня стосовно вивчення об'єктів квантової фізики — фундаментальних законів (фотоефекту, ефекту Комптона, дослідження Боте тощо).
- Соціально-практична обумовленість та значимість предметної компетентності з квантової фізики — застосування отриманих знань для участі в соціально важливих подіях суспільства, пов'язаних із питаннями застосування нанотехнологій, здобутків квантової фізики в сучасних інформаційно-комунікаційних технологіях, проблемами екології, питаннями здоров'язберігаючого трибу життя тощо.
- Знання про дане коло реальних об'єктів — відомості про фотоефект, тиск світла, ефект Комптона, дослідження Боте тощо.

- Способи діяльності відносно до цього кола реальних об'єктів — обираються учителем залежно від застосованих методів навчання в межах відповідної освітньої технології (інтерактивні технології кооперативного навчання, технології розвитку критичного мислення та ін.).
- Мінімально необхідний досвід діяльності учня у сфері цієї компетентності.

Наведений перелік характеристик дозволяє здійснювати проектування та опис предметної компетентності з квантової фізики у пропонованій методичній системі, а також здійснювати відповідний контроль її сформованості.

Процесуально конструювання предметної компетентності з квантової фізики полягала в рефлексивному виявленні компетентнісного змісту у навчальному матеріалі з квантової фізики (розділи “Оптика і квантова оптика”, “Атомна і ядерна фізика”). Для цього було здійснено:

- Пошук проявів ключових компетентностей у квантовій фізиці.
- Побудова ієрархічної систематики — дерева компетентностей.
- Проектування загальнопредметних освітніх компетентностей на вертикальному рівні для старшої школи.

Відповідно до першого пункту нами складено перелік ключових компетентностей, які можуть стосуватись до вивчення квантової фізики. З'ясовано вклад навчального предмету в частині квантової фізики у формування відповідної ключової компетентності. Отже:

- Ключова компетентність умінь навчатися. Оволодіння зазначеною компетенцією означає, що учень опановує науковий стиль мислення і методи наукового пізнання природи (спостереження, порівняльний аналіз, аналіз результатів експерименту, висунення гіпотез); умінь користуватися різними джерелами інформації.

Із змісту цієї ключової компетентності визначаємо, що вона може успішно формуватися під час вивчення квантової фізики, оскільки остання має для цього значний потенціал, який може бути реалізованим при вивченні наступних питань: історія становлення квантової теорії, гіпотеза М. Планка, закономірності випромінювання абсолютно чорного тіла (профільний рівень), пояснення явища фотоефекту за допомогою гіпотези М.Планка, корпускулярно-хвильовий дуалізм світла; постулати Бора, принцип Паулі

(профільний рівень), протонно-нейтронна модель атомного ядра та ін.

- Загальнокультурна компетентність. Оволодіння цією компетенцією означає здатність учня аналізувати та оцінювати досягнення національної та світової культури, орієнтуватися в культурному та духовному контексті сучасного суспільства, застосовувати методи самовиховання, орієнтовані на загальнолюдські цінності.

Для формування визначеної компетентності при вивченні квантової фізики ми звертали увагу на наступні питання: досягнення і внесок українських вчених-фізиків у розвиток фізичної науки; використання наукових досягнень у культурному та духовному надбанні суспільства (вплив науково-технічного прогресу на розвиток різних сфер культурного життя суспільства тощо).

- Комунікативна компетентність передбачає здатність особистості застосовувати у конкретному виді спілкування знання мови, способи взаємодії з людьми, що оточують її, навички роботи у групі, володіння різними соціальними ролями.

Ця ключова компетентність може успішно формуватися в учнів під час вивчення квантової фізики при розгляді дискусійних питань, проблемних питань квантової теорії (в історичному аспекті) та сучасних проблем фізики елементарних частинок (пошук нейтрино, з'ясування механізму Хігса (профільний рівень) та ін. Вказані проблемні ситуації успішно створюються і обговорюються учнями в ході використання учителем освітніх технологій на кшталт інтерактивних технологій кооперативного навчання, технологій розвитку критичного мислення тощо.

Формуючи перелік предметних компетенцій, яких набувають учні, вивчаючи квантову фізику, атомну і ядерну фізику, ми враховували їх комплексний характер, що означає наявність в їх структурі наступних елементів:

- об'єктів реальної дійсності (елементарні частинки, фундаментальні досліди квантової оптики, атомної і ядерної фізики);
- соціально значимих знань, умінь, навичок і способів діяльності стосовно вказаних об'єктів;
- особистісної значимості для учня формування даної компетенції (див.: табл. 3.1., 3.2.).

Побудова дерева компетенцій має на меті систематизацію усіх трьох рівнів компетенцій (ключових, загальнопредметних,

предметних) та здійснення контролю за їх формуванням.

Аналіз дерева компетентностей дозволяє також узгодити дії учителів-предметників для впровадження міжпредметного зв'язку. Побудова означеного дерева здійснювалась нами за допомогою графів і полягала в узагальненні вказаних класів компетентностей за а) спільними явищами, процесами, дослідями тощо (тобто реальними об'єктами пізнавальної дійсності) і б) спільними для різних предметів уміннями, навичками і способами діяльності.

Таблиця 3.1.

Структурні складові предметної компетентності при вивченні теми “Квантова фізика”

№	Назва компетенції	Об'єкти реальної дійсності	Соціальна значимість компетенції	Особистісна значимість компетенції
1	2	3	4	5
1.	Уміння робити висновок про корпускулярно-хвильову природу світла	Світло	Дуалістичність соціальних явищ і процесів у суспільстві.	Уміння розрізняти обидва підходи залежно від умов експерименту.
2.	Уміння оцінити історичний характер відкриття фотоефекту	Фотоефект, фотоелемент Столетова, електрон, фотон.	Історичні аспекти становлення квантової теорії.	Усвідомлення ролі особистості та її якостей (працьовитість, наполегливість тощо) в розвитку наукових досліджень.
2.	Уміння розв'язувати задачі на розрахунок фізичних величин, що характеризують фотон.	Фотон	Необхідність робити логічно вірні висновки.	Володіння математичним апаратом (формулами).

3.	Уміння використовувати рівняння Ейнштейна.	Фотоефект, фотоелементи.	Розуміння принципу роботи фотоелементів на виробництві.	Розв'язування задач на фотоефект.
4.	Уміння пояснювати досліди, спираючись на поняття “зовнішній фотоефект”	Дослід Гальванса	Необхідність робити висновки на основі проведених спостережень.	Розвиток фізичного стилю мислення.
5.	Уміння пояснити ВАХ фотоелемента	Дослід Столетова	Необхідність застосування ВАХ для визначення характеристик елементів електричних кіл.	Аналіз даних графіка.
6.	Уміння пояснювати дослід Боте (профільний рівень)	Дослід Боте	Використання на виробництві сучасних рентгеновських спектрометрів — аналіз хімічного складу речовин, дослідження мінералів і руд.	Використання XRF у побуті (портативні рентгеновські спектрометри).

Таблиця 3.2.

Структурні складові предметної компетенції при вивченні теми “Атомна та ядерна фізика”

	Назва компетенції	Об'єкти реальної дійсності (явища, процеси, предмети)	Соціальна значимість компетенції	Особистісна значимість компетенції
1	2	3	4	5
1.	Уміння оцінити історичний характер основних етапів розвитку ядерної фізики та історію про їх творців.	Атом, елементарні частинки	Вплив успіхів ядерної фізики на розвиток людської цивілізації.	Національна самосвідомість: внесок українських вчених у розвиток атомної енергетики.
2.	Уміння пояснити можливість вивільнення атомної енергії	Дослід Резерфорда	Необхідність врахування кількості атомної енергії для потреб суспільства.	Розуміння екологічних наслідків використання енергії атома.
3.	Пояснення природи радіоактивного випромінювання	Радіоактивне випромінювання	Історія відкриття радіоактивності.	Захист людини від радіоактивного випромінювання.
4.	Уміння представляти результати вимірювання радіоактивного	Дозиметр. Радіологічна карта місцевості.	З'ясування радіоактивного фону місцевості у вигляді радіологічної	Користування побутовим дозиметром. Створення радіологічної карти

	фону.		карти місцевості.	місцевості проживання.
5.	Здатність визначити масу, енергію й електричний заряд елементарних частинок.	Фотографії треків елементарних частинок	Необхідність робити висновки на основі аналізу даних, отриманих за допомогою трекових приладів.	Володіння математичним апаратом, необхідність робити логічні умовиводи, розраховувати фізичні величини за формулами.
6.	Здатність пояснити фізичні основи ядерної енергетики	Ядерний реактор.	Обізнаність про загальні параметри атомних електростанцій й України. Екологічні наслідки вибуху на Чорнобильській АЕС.	Вплив радіації на організм людини.
7.	Уміння пояснити природу Х-променів	Рентгенівське випромінювання.	Необхідність використання рентгенівського випромінювання на виробництві.	Необхідність використання рентгенівського випромінювання в медицині (флюорографія, томографія та ін.).

Заключний етап — власне формування компетентностей у навчальному процесі. Для цього слід визначитись із технологіями

навчання, які входять до відповідної методичної системи, що враховує змістове наповнення компетентностей, їх функції, способи діяльності, які мають опанувати учні, соціальну і особистісну значимість компетентностей для старшокласників. Нижче показано методичні аспекти цих питань на прикладі вивчення окремих питань квантової оптики, атомної і ядерної фізики у курсі старшої школи.

3.2. Зміст методичної системи вивчення квантової фізики в умовах профільного навчання

3.2.1. Методичні ідеї та змістові лінії викладу навчального матеріалу з квантової фізики при формуванні критичного мислення

У розділі II було показано, що важливою умовою успішного викладання ідей квантової фізики в старшій школі є нова методична система, яка концептуально передбачає заміну традиційної емпірично-індуктивної схеми на гіпотетико-дедуктивну схему, яка процесуально передбачає такі етапи:

- Постановка навчальної проблеми.
- Висунення гіпотези, що має на меті розв'язати поставлену проблему.
- Раціональна оцінка та критичний аналіз гіпотези та її вибір з-поміж інших.
- Формулювання положень (постулатів) нової теорії.
- Раціональна критика нової теорії.
- З'ясування наукових проблем нової теорії, можливі варіанти їх усунення.

Наведена схема реалізується через методологію критичного мислення. У межах пропонованої компетентнісно-орієнтованої методичної системи критичне мислення відіграє роль наскрізного уміння і його успішне формування в учнів є, в свою чергу, запорукою успішного формування відповідних компетентностей.

Розглянемо зміст та окреслимо магістральні змістові лінії методичної системи з позиції вказаної гіпотетико-дедуктивної схеми так, щоб виявити реперні точки переходу між відповідними етапами, спираючись на які можливо буде застосувати компетентнісно-орієнтовані технології навчання для формування предметної та

ключової компетентностей.

Загальновідомо, що квантова механіка — це теорія, що встановлює способи опису і закони руху мікрочастинок та їх систем, а також — зв'язки величин, які характеризують частинки та їх системи безпосередньо із величинами, що вимірюються в фізичних дослідах [51].

Сучасна квантова механіка дозволяє зрозуміти будову атома та атомного ядра, властивості елементарних частинок, природу хімічного зв'язку. Спираючись на квантову механіку, вдалося загалом пояснити властивості газів і твердих тіл, а також явища феромагнетизму, надтекучості та надпровідності; квантова механіка дозволила з'ясувати природу таких астрофізичних об'єктів як Білих карликів, нейтронних зірок, пояснити механізм протікання термоядерних реакцій в Сонці та зорях і т.д. Ряд технологічних надбань отримано завдяки розумінню законів квантової механіки — робота ядерних реакторів, напівпровідників, пошук та відкриття нових матеріалів (наприклад, відкриття графену) тощо.

Таким чином, квантова механіка має прикладне значення, пройшла експериментальну перевірку та має практичне застосування. Це досить цінний дидактичний потенціал у сенсі викладання елементів квантової теорії в шкільному курсі фізики. Проте, не менш важливо з'ясувати, які проблеми поставали перед вченими при розбудові квантової теорії та які існують дотепер. Розкриття суті цих проблем та їх представлення в адекватній формі відносно навчальних можливостей учнів, дозволить акцентувати гіпотетико-дедуктивну схему (не відкидаючи повністю емпірично-індуктивної схеми) подання навчального матеріалу з квантової фізики. У зв'язку з цим, розпочинати виклад відповідних відомостей варто не з опису явищ та накопичених фактів, зібраних у результаті індуктивної процедури, а з постановки проблеми. Джон Дьюї справедливо вважав, що критичне мислення виникає тоді, коли учні займаються конкретною проблемою [81]. Отже, необхідно навчати учнів ставити запитання та формулювати проблему, наявність якої можна з'ясувати, провівши короткий історичний екскурс зі становлення квантової теорії, або розглянувши результати експериментів, що входили в протиріччя з тогочасними уявленнями вчених про будову речовини тощо. Важливо, щоб при цьому використовувались методи навчання, які спрямовані на формування критичного мислення (про це детальніше в наступному п.3.2.2.).

Наступний етап — постановка (формулювання) та всебічна перевірка гіпотези (або кількох гіпотез). Учні висувають гіпотези та піддають їх критичному аналізу, спираючись на емпіричні дані, числові значення отримані в ході відомих досліджень вчених-фізиків тощо. Після цього відбувається формулювання положень теорії та їх критичний аналіз із метою виявлення нових проблем.

Таким чином, для розгортання навчального матеріалу відповідно до гіпотетико-дедуктивної схеми, окреслимо його змістове наповнення навколо таких «маркерів»:

- наявність проблеми або протиріччя між усталеною теорією та новими емпіричними даними;
- необхідність пошуку та вибору гіпотези, яка відповідає певним критеріям (емпіричним даним) краще з-поміж інших;
- критика нової теорії та постановка на цій основі нової проблеми.

Більшість наукових проблем, які виникали в ході розвитку квантової механіки, пов'язані переважно із будовою атома. Вирішення цих проблем базувалося на прийнятті гіпотез, а їх перевірка супроводжувалась формулюванням відповідних постулатів, принципів та моделей. Першими такими моделями були планетарна модель Резерфорда і модель Томсона. Обидві передбачали, що до складу атома входять заряджені частинки, як позитивно, так і негативно заряджені. Які підстави були, щоб так думати?

Для того, щоб пояснити випромінювання світла, Лоренц розробив теорію, згідно з якою електромагнітне випромінювання виникає при коливаннях заряджених частинок всередині атома. Це підтвердилось у ході дослідження дії магнітного поля на атомні спектри (явище Зеємана). З іншого боку, Дж.Дж. Томсон з'ясував, що відношення заряду до маси e/m для вільних заряджених частинок в катодних променях, досить точно співпало із значенням, яке отримав Лоренц в його теорії явища Зеємана. Томсон зробив висновок, що катодні промені — це потік вільних електронів (1897 р.). До цього часу були відомі явища термоелектронної та фотоелектронної емісії: метали при сильному нагріванні або освітленні короткохвильовим світлом, випромінювали електрони. Отже, електрони входять до складу будь-яких атомів. Це означало також, що нейтральні атоми повинні мати позитивно заряджені частинки. Це припущення було підтверджено — позитивні йони були виявлені при дослідженні електричних зарядів в розріджених газах.

Планетарна модель і модель «пудинга» — системи заряджених частинок, які в цілому нейтральні. Яку гіпотезу прийняти як таку, що

найближче відповідає дійсності?

Уявлення про атом як про систему заряджених частинок пояснювало можливість випромінення атомом світлових хвиль. Причому в рамках теорії Лоренца обидві гіпотези (планетарна модель і модель Томсона) рівноправні: електромагнітне випромінювання виникає при коливаннях зарядів всередині атома.

Дослідження французьких вчених М. Склодовської-Кюрі і П. Кюрі, а також англійського хіміка Содді показали складну будову атомного ядра і остаточно спростували давніші уявлення про неподільність атома.

Модель атома Томсона дозволяла пояснити випромінювання, поглинання і розсіяння світла, в той час як планетарна модель Резерфорда мала суттєві протиріччя із класичною електродинамікою. Чи достатньо підстав, щоб прийняти модель Томсона? Не зважаючи на те, що бачилося очевидна відповідь на це питання, Резерфорд разом із своїми співробітниками Гейгером та Марсденом, провели серію дослідів із розсіяння α -частинок, які мали несподівані результати. Для того, щоб перевірити розміри ядра (розмір локалізації позитивного заряду в атомі) Резерфорд разом із своїм учнем Дарвіном провели додаткові дослідження: підраховували кутовий розподіл частинок, розсіяних точковим ядром — центром кулонівських сил. Результати дослідів досить точно співпали із теоретичними розрахунками і це дозволило, по-перше, стверджувати про малі розміри ядра (порівняно із розмірами атома), і, по-друге, довести, що закон Кулона справедливий не лише для точкових зарядів макросвіту, а також для заряджених частинок мікросвіту.

Планетарна модель, як вже зазначалося, мала суттєві протиріччя із класичною електродинамікою Максвелла. Крім цього, планетарна модель не пояснювала експериментальні дані спектрів випромінювання. Згідно з теоретичними результатами частота обертання електрона навколо ядра мала б дорівнювати частоті випромінювання атома. Проте спектри випромінювання атома водню (емпіричні дані) і розрахунки частоти обертання електрона в атомі водню (теоретичні розрахунки моделі Резерфорда) не співпадали. Таким чином, у рамках моделі атома Резерфорда не можливо було пояснити стійкість атома і водночас наявність лінійчатих спектрів його випромінення.

Отже, побудова та експериментальна перевірка гіпотетичної моделі атома Резерфорда є процесом висунення гіпотез, їх перевірки та виявлення нових проблем, що цілком вкладається в поперівський критичний раціоналізм, як рушій наукової думки.

Для подолання протирічч, описаних вище, данський фізик Нільс Бор висунув постулати (ряд гіпотез), які не вкладалися в рамки класичної фізики. Ця подія може розглядатися як передумова виникнення нової методології, що потягла за собою руйнацію індуктивного підходу з одного боку, та поступову відмову від наочності не лише як інструментарію квантової механіки, а й дидактичного принципу у методиці викладання фізики (про це докладніше йшлося в розділі I). У посткласичній фізиці побудова теорії розпочинається не з накопичення нових емпіричних фактів, а з гіпотези або моделі, яка потім проходить перевірку на фальсифікованість. Звідси випливає необхідність не стільки пошуку експериментальних фактів на підтвердження нової теорії (верифікації), а пошуку фактів, які можуть її спростувати. Отже, при вивченні відомостей про утворення і розвиток ідей квантової теорії слід робити акцент на пошуку таких моментів у логіці методології фізичної науки, які б показували, що теорія має статус наукової, коли її положення, принципи та закони в принципі дозволяють отримати емпіричні факти, що призведуть до перегляду її теоретичних положень та вироблення зрештою нової теорії. Таку логіку розгортання викладу навчального матеріалу дозволяє реалізувати саме квантова фізика.

Перший постулат Бора — існування стаціонарних станів атома: атом не випромінює і є стійким лише у деяких стаціонарних незмінних в часі станах, що відповідає дискретному ряду «дозволених» значень енергії E_1, E_2, E_3, \dots . Будь-яке значення енергії пов'язане з квантовими стрибкоподібним переходом із одного стаціонарного стану в інший.

Другий постулат — умова частот випромінювання (квантових переходів з випромінюванням). При переході із одного стаціонарного стану з енергією E_i в інший стан з енергією E_k атом випромінює або поглинає світло певної частоти ν у вигляді кванту випромінення $h\nu$ відповідно до співвідношення

$$h\nu = E_i - E_k$$

Для визначення «дозволених» значень енергії атома квантування його енергії та характеристик що відповідають цим стаціонарним станам, Бор застосував класичну ньютонівську механіку. Цей факт дає можливість розглянути навчальний матеріал у незвичному контексті, а саме — порівняти індуктивно-емпіричний підхід із гіпотетико-дедуктивним, а відтак — показати переваги і недоліки обох підходів. Власне відправним пунктом квантової механіки як посткласичної фізики, стала ідея де Бройля про дуальну природу руху мікрооб'єктів

(1926 р.). Бор писав, що немає інших засобів, щонайменше станом на 1913 рік, крім класичної механіки, щоб скласти наочне уявлення про стаціонарні стани. Таким чином, борівська модель атома водню — це спроба обґрунтування нових постулатів положеннями класичної механіки та класичної електродинаміки. Обидва постулати Бора як основні положення квантової механіки мали блискуче підтвердження експериментами. Отже, індуктивно-емпірична схема викладу даного матеріалу буде сповна успішна і водночас, подальший розвиток квантової механіки може засвідчити її недоліки, оскільки подальше накопичення дослідних фактів свідчили не на її користь, а швидше навпаки. Так, теорія Бора не впоралась з багатьма задачами теорії спектрів, (наприклад, не змогла пояснити інтенсивність спектральних ліній), не пояснила рух електронів для атомів більш складних, ніж гідроген, не здатна була розкрити механізм з'єднання атомів в молекули. Вирішення цих проблем змусило вчених відмовитись від класичних підходів та методів дослідження. Відтепер дослідження об'єкту розпочинали із гіпотези або гіпотетичної моделі, яку потім всебічно оцінювали та піддавали раціональній критиці. Натомість у класичній фізиці дослідження розпочинали із індуктивної процедури та узагальнення емпіричних фактів, а вже потім на їх основі розроблялась модель, яка проходила експериментальну перевірку. Класична методологія відповідає емпірично-індуктивному підходу, який у філософському та дидактичному контексті реалізований у методиці навчання фізичних теорій. Якщо проаналізувати навчальні програми [205, 206] під таким кутом зору, то виявиться, що власне ідеї квантової фізики представлені досить в обмеженому об'ємі — постулати Бора, а їх обґрунтування спирається на класичні уявлення, тому квантова фізика на цьому і завершується, не встигнувши розпочатись. З одного боку це можна вважати недоліком, а з іншого — математична підготовка учнів старшої школи не дозволяє сповна оцінити ідеї квантової теорії і це цілком природно, адже зміст понять квантової механіки складний для сприйняття учнями. виправити ситуацію можна, якщо замість навантаження учнів складним понятійним апаратом, в навчальному процесі відокремити індуктивний та дедуктивний методи в пізнанні навколишнього світу і показати як, спираючись на гіпотетико-дедуктивний підхід, розвивалась квантова механіка.

3.2.2. Зміст методів навчання квантової фізики в старшій школі

Для впровадження компетентнісного підходу під час навчання квантової, атомної і ядерної фізики, нами було запропоновано нові методи навчання (які використовувались поряд із традиційними), що враховують особливості формування предметної компетентності, а саме її структуру (табл. 3.1., 3.2.). Науково обґрунтований відбір і систематизацію методів навчання ми здійснювали відносно технологій навчання. З цією метою нами було проаналізовано логіку побудови навчальних технологій [12, 44, 58, 61, 84, 85, 92, 168, 180, 183, 184, 192, 193, 300] та враховано методичні особливості викладання відповідних розділів і тем квантової оптики та атомної і ядерної фізики (див.: розділи I і II). Не зупиняючись детально на аналізі, вкажемо коротко на його результати.

На підставі проведеного аналізу, в основу методичної системи формування предметної компетентності покладено технологію навчання квантової фізики, яка розроблена як симбіоз чотирьох груп технологій — технології розвитку критичного мислення, інтерактивних технологій кооперативного навчання, технології мобільного та змішаного навчання.

У психолого-педагогічній літературі можна прочитати понад 300 означень про навчальні, освітні, педагогічні технології. О.М. Пехота відзначає толерантність дослідників до різних формулювань цих понять і водночас виникнення тенденцій “...переходу до розуміння педагогічної технології як педагогічної системи, в якій використання засобів навчання підвищує ефективність навчального процесу” [180, с. 20]. Під педагогічною технологією надалі будемо розуміти системний підхід до планування і застосування методів навчання, об’єднаних спільною метою їх найефективнішого використання в навчальному процесі. Отже, за будь-якої педагогічної технології можна одержати відповіді на запитання: *Які методи використовувати? В якій послідовності це робити? Як саме використовувати методи навчання? Які результати отримаємо?* Якщо система методів та прийомів, засобів навчання дозволяє відповісти на ці запитання, то вказана система є технологією навчання.

Відповіді на сформульовані вище запитання призведуть до постановки інших запитань, на кшталт: Які засоби навчання

необхідні? Скільки часу потрібно? Що треба робити вчителю, а що — учням? Як оцінювати роботу учнів? тощо.

Слід наголосити — поєднання кількох методів навчання ще не є технологією. Методи навчання — це способи пов'язаних між собою видів діяльності вчителя та учнів, спрямовані на досягнення певних цілей навчання (за О.І. Бугайовим). Метод реалізується через прийоми навчання. Залежно від цілей навчання взаємопов'язану діяльність учителя та учнів можна розглядати і як метод навчання, й як методичний прийом. Тому використання одних і тих самих методів, але в різній послідовності та в різних комбінаціях може мати неоднакові результати навчання, якщо при цьому переслідуються певні цілі. Практика свідчить, що взаємозв'язок методів навчання є проблемою важливішою, ніж послідовність їх застосування у навчальному процесі. Проте, і послідовність застосування методів можна розглядати як часткове віддзеркалення взаємозв'язку методів навчання.

Важливо не лише “механічно” відтворювати певну сукупність методів навчання, а й використовувати їх з певною навчальною метою. Якщо відомо, з якою метою використовується певна сукупність методів (формування ключової компетентності, критичного мислення тощо), тоді можна відповісти на запитання, як саме та в якій послідовності необхідно комплексно використати ці методи в навчальному процесі. Таким чином, при спільному використанні методів навчання, ми враховували наступні питання:

- які саме методи навчання слід застосовувати попарно або спільно;
- яка послідовність застосування кількох методів навчання;
- яка навчальна мета переслідується при застосуванні кількох методів.

Нижче представимо методи та методичні прийоми, які створені шляхом поєднання традиційних методів навчання та інтерактивних методик кооперативного навчання, технологій розвитку критичного мислення, мобільного навчання і які успішно можна використовувати при вивченні квантової фізики у курсі старшої школи.

Із досвіду роботи багатьох учителів-методистів відомо, що під час використання методу бесіди для обговорення запитань, якісних задач тощо доцільно залучати такі методичні прийоми:

- Для постановки запитання вчитель заздалегідь готує кілька формулювань одного й того самого запитання.

Переформулювання запитання з паузою в 5—10 с дає змогу всім учням зрозуміти суть поставленої вчителем проблеми.

- Після відповіді одного чи кількох учнів на запитання вчитель не заперечує (не підтверджує) справедливості чи хибності висловленої учнем думки.
- Вчитель вказує (не конкретизуючи) на можливі помилки у відповідях і пропонує всім іншим подумати та вказати на помилку товариша.
- Вчитель дає “провокаційні” додаткові запитання або ставить під сумнів навіть правильні відповіді для підтримання дискусії. Наприклад, якщо одному з учнів вдалося відразу “вгадати” правильну відповідь, учитель пропонує іншим обґрунтувати її справедливості або хибності (на розсуд самих учнів).

Наведені методичні прийоми дають змогу продемонструвати учням, як можна мислити критично, коли висловлювання вчителя не є істиною. Це привчає учнів висловлюватись і формувати власні ідеї зважено й обережно, дослухаючись до думки товаришів, і водночас піддавати сумніву не лише власні ідеї, а й висловлювання вчителя.

Наведемо декілька розроблених методів, що дозволяють:

- формувати ключову компетентність уміння вчитися;
- формувати в учнів уміння критично мислити, обґрунтовувати власні ідеї і висловлювання;
- формувати предметну компетентність з квантової фізики.

Слід окремо підкреслити, що пропоновані методи не є абсолютно новими, а удосконаленням уже відомих методів та їх об'єднанням у межах розроблюваної методичної системи навколо головної мети — формування в учнів уміння критично мислити та формування ключової компетентності “уміння вчитися”. Розробляючи методи, ми спиралися на дослідження фахівців із критичного мислення та інтерактивних методик [44, 192172, 193, 300].

Усі розроблювані нами методи можна умовно розділити на дві групи. Перша група методів передбачає безпосередню взаємодію учителя й учнів у класі. Друга група методів дозволяє реалізувати означену взаємодію шляхом використання мобільних технологій, платформ дистанційної освіти (Moodle, Google Classroom та інших).

І. *Перша група* методів об'єднувала в собі традиційне навчання (словесні, наочні, практичні методи навчання) та інтерактивні методики.

«Демонстрація — обговорення в парах» [249] —

удосконалений метод “роботи в парах”, який дає змогу повідомити нові факти, актуалізувати проблему, підготувати учнів до вивчення нового навчального матеріалу або надати їм можливість застосувати здобуті знання для пояснення нових фізичних явищ (предметна компетенція). Метод потребує 10—15 хв навчального часу.

Діяльність учителя і учнів.

- Учитель демонстрував дослід (наприклад, дослід Гальвакса).
- За наперед підготовленими вчителем запитаннями учні в парах обговорювали результати досліду. Кожна пара повинна була прийти до спільної думки щодо пояснення результатів продемонстрованого досліду.
- 2-3 пари учнів оголошували одержані під час обговорення результати.
- Як наслідок загального обговорення вчитель на дошці записував висновки за результатами проведеного досліду.

Метод «**Висунення гіпотез**»[249] дає змогу учням отримати нову інформацію шляхом використання прийомів проблемного навчання. Даний метод застосовують упродовж одного або кількох уроків у комбінації з іншими методами і технологіями навчання.

Діяльність учителя і учнів:

1. Учням пропонували розв'язати задачу (кількісну чи якісну) або пояснити результати продемонстрованого досліду (наприклад, за допомогою описаного вище методу). Дослід або задачу вчитель готував таким чином, щоб учням бракувало знань для їх розв'язання чи пояснення. Учням пропонувалося вказати невідомі факти, які вчитель заносить у таблицю в графу “Що невідомо?”

Що невідомо?	Гіпотеза	Перевірка гіпотези	Про що дізналися?	Пояснення нових явищ

2. Учням пропонували висунути припущення щодо пояснення невідомих їм фактів або результатів досліду. На цьому етапі використовувався метод “мозкового штурму” або обговоренням у парах. Учитель записував висунуті учнями припущення і пропозиції в графу “Гіпотеза”.
4. Після цього формулювали наступне завдання: змінити умови

досліді або доповнити його новими деталями, щоб підтвердити висунуту гіпотезу. Учитель керував процесом обговорення цього завдання і записував новий варіант або нові деталі досліді в графі “Перевірка гіпотези”.

5. Учитель проводив видозмінений дослід і пропонував учням за його результатами спростувати або підтвердити гіпотезу. Результати записували в графу “Про що дізналися?”.
6. Учитель пропонував розглянути кілька явищ, які можна пояснити, спираючись на нові знання, сформульовані у графі “Про що дізналися?”. Після обговорення у графу “Пояснення нових явищ” записували явища або процеси, які можна пояснити, спираючись на нові знання.

Метод «**Складання задач**» [там само] дає змогу закріпити здобуті під час уроку знання учнів або перевірити вивчений матеріал. Цей метод використовувався під час тематичних атестацій. Він може тривати в інтервалі 15-45 хв.

Діяльність учителя і учнів:

- Учні пропонували прочитати умови кількох задач, наперед підготовлені учителем, використовуючи підручник або інші джерела, текст роздруковували на картках, які роздавали учням.
- Учні розв'язували запропоновані учителем задачі. Для економії навчального часу, ці розв'язки можуть бути результатом домашньої роботи учнів.
- Учні пропонувалося, використовуючи результати раніше розв'язаних задач, скласти нову задачу (якісну або кількісну). Підготовленим учням пропонувалося скласти кілька задач.
- Після цього учні об'єднувалися в пари й обмінювалися задачами. Кожен міг або розв'язати задачу, або обґрунтувати хибність чи помилковість умови (на власний розсуд).
- На завершення роботи здавали на перевірку вчителю.

II. *Другою групою методів* передбачалося застосування мобільної технології навчання як окремої технології навчання. Реалізовували це шляхом використання хмарних технологій, зокрема за допомогою платформи дистанційної освіти Classroom.

«**Спрямоване читання з висновками**» [там само]. Цей метод ґрунтується на стратегіях «Спрямоване читання» та «Спрямоване читання з обдумуванням» [33], проте є їх удосконаленим варіантом, що посилений необхідністю робити висновки під контролем учителя за допомогою Classroom.

«Спрямоване читання» допомагає учням розуміти текст, щоб в подальшому краще засвоювати пояснення учителя стосовно його змісту. «Спрямоване читання з обдумуванням» передбачає, що учитель не ставить конкретні запитання лише для спонукання учнів до розуміння прочитаного, а пропонує обдумування прочитаного тексту, читання «між рядків», що дозволить їм його обговорювати і критично осмислювати.

У старшій школі при вивченні фізичних теорій, зокрема квантової теорії, важливо не лише розуміти текст і уміти читати «між рядків», але й самостійно робити висновки у вигляді обґрунтованих та чітко аргументованих суджень. Критичне мислення прагне до переконливої аргументації (за Д. Клустером). Пропонована стратегія «Спрямоване читання з висновками» дозволяє навчати учнів аргументувати власне твердження спираючись на чотири елементи: а) формулювання твердження (тези) або головної ідеї, б) доведення, в) факти (докази) та г) підставу. З цією метою учням пропонують текст, у якому необхідно виокремити і знайти текстовий матеріал, який дозволить реалізувати три з названих елементів:

1. Здійснити доведення або спростування тези (твердження, основної ідеї).
2. Навести докази або факти (цифри, експериментальні дані, історичні події, уривки із представленого для читання тексту та ін.).
3. Сформулювати підставу, що дає обґрунтування всієї аргументації.

Четвертий елемент аргументації — твердження (теза, головна ідея) формулюється вчителем у вигляді завдання. Важливо, щоб пропонована теза була незавершеною, тобто її остаточне формулювання учні мають здійснити самостійно як висновок із прочитаного тексту. Наприклад, учень може підтвердити тезу або спростувати. Як саме діяти — це його самостійний та усвідомлений вибір, який, однак, має ґрунтуватись на трьох елементах аргументації, знайдених у пропонованому тексті.

«Спрямоване читання з висновками» передбачає вищий рівень складності завдань, що постають перед учнями порівняно із «Спрямованим читанням» та «Спрямованим читанням з обдумуванням». Це пов'язано з тим, що «спрямоване читання з висновками» вимагає від них обробки значної кількості інформації, що міститься в пропонованому учителем тексті (це може бути

завершена стаття із часопису або стаття заздалегідь написана учителем, глава книги, параграф підручника, уривок виступу або доповіді відомого вченого тощо) та пошуку відповідних елементів аргументації. Таким чином, учителю не потрібно левову частку навчального часу витрачати на виклад нового навчального матеріалу. Інформація виступає відправним, а не кінцевим пунктом вивчення відповідного навчального матеріалу — фізичної теорії або фізичного явища, закону тощо. Учні самостійно прочитують нову інформацію, а підбираючи відповідні елементи аргументації, засвоюють її та вчаться мислити критично. Проведені нами спостереження за навчальним процесом показали, що метод «Спрямоване читання з висновками» добре підходить для учнів старшої школи.

Водночас складність навчальної діяльності учнів, пов'язана із читанням наукового тексту, пошуку на його основі інформації для доведення основної тези, пошук доказів і підстав, - не дозволяє його застосовувати у повній мірі під час уроку, оскільки вимагає багато навчального часу. Для того, аби перенести більшу частину цієї роботи на самостійне її виконання учнями, ми вдалися до використання Classroom.

Діяльність учителя і учнів:

1. Учитель створює завдання за допомогою Classroom. До завдання прикріплює відповідний текст, який учні мають опрацювати.

2. В завданні формулюють запитання, на які учні повинні відповісти, виконуючи завдання. Запитання формулюються так, щоб аргументувати головну ідею (тезу). Теза може бути або підтвердженою, або спростованою.

3. Учні виконують завдання: читають текст і шукають відповідні елементи аргументації. Результати цієї роботи викладають в Google Документах.

4. Учитель здійснює контроль: слідкує за виконанням учнями завдання в режимі on-line, маючи доступ до Документу кожного учня.

5. Після завершення перевірки усіх робіт, учитель повертає роботи учням. Результати обговорюються під час уроку, на якому вивчається наступна тема або підбиваються підсумки результатів навчання (наприклад, під час тематичної атестації).

Описані етапи можуть бути реалізованими в межах одного (рідше) або кількох уроків (найчастіше).

Як варіант пропонованої стратегії, вона може входити як елемент «Спрямованого читання». У такому варіанті його виконання ми пропонуємо розбивати на три взаємопов'язаних між собою етапи.

Перший етап. Учитель застосовує під час уроку стратегію

«Спрямоване читання» з метою ознайомлення учнів із текстом.

Другий етап. Учитель застосовує під час уроку (цього ж або наступного) стратегію «Спрямоване читання з обдумуванням», щоб підготувати учнів до третього етапу — підтвердження або спростування головної ідеї або тези (яка заздалегідь підготовлена учителем).

Третій етап. Учитель застосовує стратегію «Спрямоване читання з висновками». Даний етап можна повністю або частково віднести на самостійне виконання учнями під контролем учителя в Classroom.

Метод **«Складання задач на основі тексту»**. Цей метод може бути застосованим як за допомогою Classroom, так і без використання інтернет-технологій. «Складання задач на основі тексту» — це вдосконалений варіант стратегії «Складання задач», описаної вище в першій групі методів та моделі змішаного навчання «Перевернутий клас».

Застосування цієї стратегії має два етапи. На першому етапі учням пропонують текст, який містить нову для них інформацію — положення теорії, доведення або опис експериментального підтвердження положень фізичної теорії, формулювання закону та приклади його застосування тощо. Цей матеріал учні опрацьовують дома, готуючи відповіді на запитання, які заздалегідь сформульовані учителем. Якщо використовували Classroom, то учитель готував до публікації завдання, до якого прикріплювався відповідний контент — файли із текстовим матеріалом та запитаннями, відео фізичних дослідів тощо. Другий етап — робота із пропонованим текстом у класі. Учні отримували завдання — використовуючи лише відомості із опрацьованого ними матеріалу, скласти фізичну задачу. Для виконання цього завдання учням класу пропонували об'єднатися у дві групи. Обом групам пропонувалося дійти згоди щодо змісту задачі протягом 5 хв. Потім перша група оголошувала умову задачі, а друга отримувала 10 хв на її розв'язок. Після цього групи мінялися місцями: друга група оголошувала умову задачі, а учні першої групи намагалися протягом 10 хв її розв'язати.

Одним із цікавих варіантів цього методу є застосування на другому етапі технології кооперативного навчання «Акваріум».

3.3. Засоби навчання як складова методичної системи вивчення квантової фізики

Наші спостереження та практика застосування мобільної технології в навчанні дозволяють стверджувати, що як засіб навчання

мобільна технологія може використовуватись у кількох аспектах:

- Мобільний пристрій забезпечує доступ до мережі Інтернет. Як засіб доступу до мережі Інтернет мобільний гаджет може використовуватись у багатьох додатках, сервісах і платформах особливо там, де застосовуються хмарні технології, дистанційне навчання тощо. Найпростіший варіант — мобільний телефон (смартфон, планшет, ноутбук) забезпечує доступ до спеціальних сайтів із навчальною інформацією — підручниками, довідниками, тестами, практичними завданнями, малюнками, схемами та ін.
- Мобільний пристрій як засіб відтворення навчальної інформації. Сучасні мобільні пристрої мають досить значні можливості щодо відтворення різноманітного навчального контенту — від текстових файлів до звукових та відеоматеріалів. З цією метою використовуються адаптовані електронні підручники та програмне забезпечення спеціально створене для мобільних платформ та операційних систем Android або iOS.
- Мобільний пристрій як засіб демонстрації фізичних дослідів. Широкого застосування набули додатки, які є віртуальними лабораторіями. За допомогою них учитель може провести демонстрацію експериментальної установки або фізичного явища, провести фізичний експеримент. У такому разі мобільний пристрій відіграє роль засобу наочності і дозволяє провести демонстрацію фізичних явищ, які немає можливості продемонструвати безпосередньо в класі внаслідок складного обладнання, небезпечного випромінювання тощо.
- Мобільний пристрій як засіб вимірювання. Більшість мобільних пристроїв обладнані: фотокамерою, акселерометром (G-сенсор) гіроскопом, магнітометром, датчиком наближення, датчиком освітленості, датчиком Холла тощо. Спеціально розроблене програмне забезпечення дозволяє скористатись мобільним девайсом як вимірювальним засобом, застосувавши один із датчиків або фотокамеру. Наприклад, деякі смартфони можуть бути обладнані барометром (для кращої орієнтації на місцевості та швидкого прийняття GPS-сигналу). Спеціальне програмне забезпечення дозволяє скористатись барометром для іншої мети — в якості альтиметра і визначати висоту над рівнем моря.
- Мобільний пристрій як знаряддя праці вчителя й учнів. Зазвичай

засоби навчання відзеркалюють стан і науково-технічні, психолого-педагогічні та методичні досягнення кожного етапу розвитку педагогічної науки. Еволюція засобів навчання є проекцією розвитку техніки й технологій на соціальне замовлення суспільства в царині освіти. Тому використання мобільних пристроїв під час уроків як засобів навчання є цілком природнім. Водночас мобільну технологію можна вважати дидактичним засобом навчання, оскільки за допомогою неї здійснюється передача інформації для досягнення певної дидактичної мети. У цьому контексті мобільні пристрої можна розглядати як знаряддя праці учителя та учнів.

Сучасна парадигма освіти орієнтована на триєдиний підхід до навчання — діяльнісний, компетентнісний та особистісно орієнтований.

Для того, аби з'ясувати, чи відповідає мобільне навчання вказаному підходу, нами було проведено дослідження, результати якого викладені нижче.

Проведені нами анкетування, щодо застосування мобільних технологій на уроках фізики серед учителів загальноосвітніх шкіл м. Умані та Уманського, Маньківського та Жашківського районів (Черкаської області) засвідчили наступне. На запитання «Чи варто учителю на уроках використовувати телефон» трохи більше половини опитаних (56% від загальної кількості) відповіли «ні». Також думки помітно розділились при відповіді на запитання «Чи можете ви назвати один або кілька методів навчання, що передбачають використання мобільних пристроїв на уроках?» — 65% відповіли, що не знають, і лише 35% респондентів заявили, що їм відомі такі методи. Проте, майже 80% опитаних готові застосовувати мобільні технології на уроках і 71% дозволяють учням користуватися планшетними комп'ютерами (смартфонами) на уроках для читання та пошуку інформації. Такі результати свідчать про перспективність мобільного навчання в загальноосвітніх школах та необхідність розробки відповідного методичного забезпечення.

Нами було проведено анкетування майбутніх учителів фізики, математики, інформатики — студентів Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, факультету фізики, математики та інформатики з метою визначення їх готовності до використання мобільної технології в навчальному процесі. В анкетуванні брали участь 147 студентів 1—5 курсів. За результатами

анкетування з'ясовано, що 99,4% студентів мають мобільні пристрої, з них 78,6% мають смартфони, 19,2% планшети, 17,2% — мобільні телефони. Деякі студенти користуються одночасно і телефоном, і смартфоном, і планшетом. Значна частина студентів мають ноутбуки — 73,4% від загальної кількості усіх опитаних.

На діаграмі 3.1 показано технічну оснащеність смартфонів і планшетів у відсотках:

6. Wi-Fi доступ в Інтернет.
7. 3G доступ в Інтернет.
8. 4G доступ в Інтернет.
9. GPS навігація.
10. Фотокамера з автофокусом.
11. Сканер QR-коду (технічна характеристика фотокамери).
12. Фронтальна фотокамера.
13. Калькулятор.
14. Bluetooth.
15. Інфрачервоний порт.
16. G-сенсор.
17. Акселерометр.
18. Магнітометр.
19. Гіроскоп.

Діаграма 3.1. Технічне оснащення смартфонів та планшетів студентів



Таким чином, технічне оснащення смартфонів і планшетів дозволяє більшості їх власникам (90%) виходити в мережу Інтернет, читати електронні книги та текстові документи, використовувати чат та Skype, GPS навігацію; використовувати смартфон як засіб вимірювання (понад 80%). Під час анкетування було з'ясовано, що більшість студентів недостатньо знають про технічну оснащеність своїх гаджетів. Наприклад, викликали труднощі запитання про наявність датчиків у смартфонах.

Діаграма 3.2. Використання додатків смартфонів (планшетів) серед опитаних студентів



На діаграмі 3.2 показано, якими саме додатками користуються студенти:

- Браузер.
- Поштовий клієнт.
- Клієнт миттєвих повідомлень (Skype, Viber, Hangoust, ICQ та ін.)
- Календар (органайзер).
- Додатки хмарних сервісів (Dropbox, Google Drive та ін.).
- Додатки для спілкування в соціальних мережах (Facebook, Twitter та ін.).
- Програми для читання електронних книг (FBReader, CoolReader, EbookDroid, Play Книги та інші).

- Офісні програми (аналоги Word, Excel).
- Словники та перекладачі (зокрема онлайн-перекладачі).
- Ігри.

Аналогічне анкетування було проведено серед старшокласників (10—11 класи) шкіл м. Умані та Уманського району (вибірка — 209 учнів).

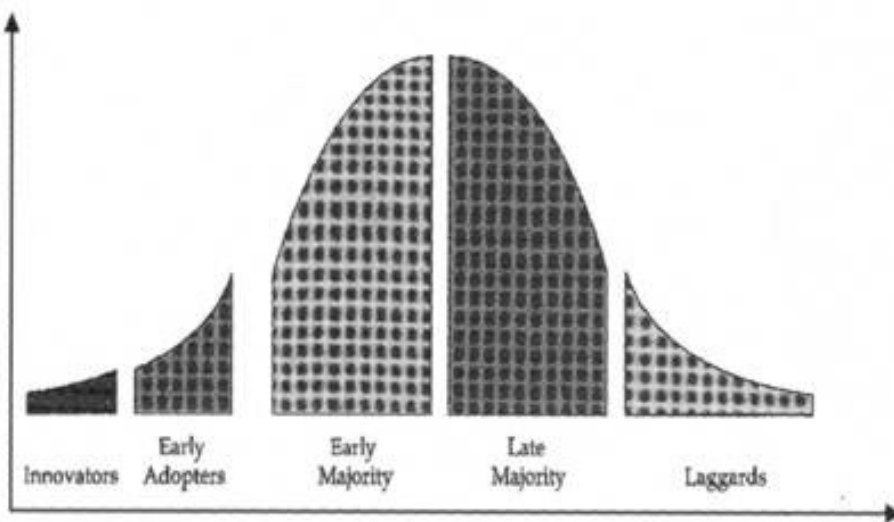
Аналізуючи відповіді респондентів, ми зробили наступні висновки. Найчастіше студенти використовують браузер, програми для електронної пошти (e-mail), додатки миттєвих повідомлень (Skype, Viber, Hangoust, ICQ) — понад 90%. Менше використовують календар, програми для читання книг та ігрові додатки (понад 70%). Помітно нижчі результати були отримані для хмарних сервісів, соціальних мереж, офісних програм та словників і перекладачів (від 50% до 33%). Отже, додатки та відповідні сервіси, які можна активно використовувати для навчання, використовуються недостатньо, наприклад, читання електронних книг, хмарні сховища, офісні пакети, онлайн-перекладачі тощо. Проте, активне користування іншими програмами (браузерами, поштою, месенджерами) свідчить про готовність майбутніх учителів до використання вказаних сервісів у професійній діяльності.

Для більш ґрунтової обробки та пояснення отриманих результатів, було здійснено аналіз відповідних джерел науково-методичної літератури, який засвідчив, що створені методики та методичні системи застосування ІКТ у навчальному процесі, зазвичай, передбачають застосування персональних комп'ютерів, а тому недостатньо орієнтовані на повне та всебічне використання мобільних технологій в навчальному процесі. Цим також можна пояснити, те, що учителі, які використовують мобільні пристрої під час уроків, переважно ставлять дидактичні цілі, що не враховують потенціал мобільних технологій і напрямлені лише на досягнення колишніх цілей, що розв'язувались у межах традиційної методичної системи з точки зору усталених підходів щодо впровадження ІКТ у навчальний процес.

Під час розгляду результатів анкетування учителів та студентів, ми з'ясували, що отримані результати відповідають теорії Мура (Moore) [4]. У праці «Долаючи прірву» (Crossing the Chasm)[4] Джефрі А. Мур описує модель проникнення на ринок нової технології. Пропонована ним модель становить послідовність переходів від одного типу споживачів до наступного протягом

життєвого циклу існування певної технології. Життєвий цикл прийняття технології представлений у вигляді кривої, під якою заштриховані області, що наближено відповідають середньоквадратичним відхиленням (мал. 3.3). Рання більшість (Early Majority) та пізня більшість (Late Majority) розподілені в межах одного середньоквадратичного відхилення. Ранні адоптери або ранні послідовники (Early Adopters) та відстаючі користувачі (Laggards) — двох, а на початку, при появі технології на ринку (приблизно три середньоквадратичних відхилення від норми) розташувались новатори (Innovations) [4].

На ранній стадії застосування мобільного навчання серед учителів та учнів формується дві групи користувачів — новатори та ранні адоптери. Інша більшість, яка згодом приєднається і складатиме ранню та пізню більшість не зацікавлені в застосуванні нової для них технології мобільного навчання. Головним рушієм проникнення нової технології для новаторів виступає інтерес. Проте, головне завдання полягає в тому, щоб перетнути прірву до ранньої більшості. Для того, щоб це здійснити, необхідна стратегія певних дій з боку викладача або учителя. Отже, методи навчання в межах розроблюваної нами технології повинні структуруватися таким чином, щоб враховувати описаний вище життєвий цикл впровадження технології згідно моделі Мура.



Мал. 3.3. Життєвий цикл прийняття технологій за Муром [4]

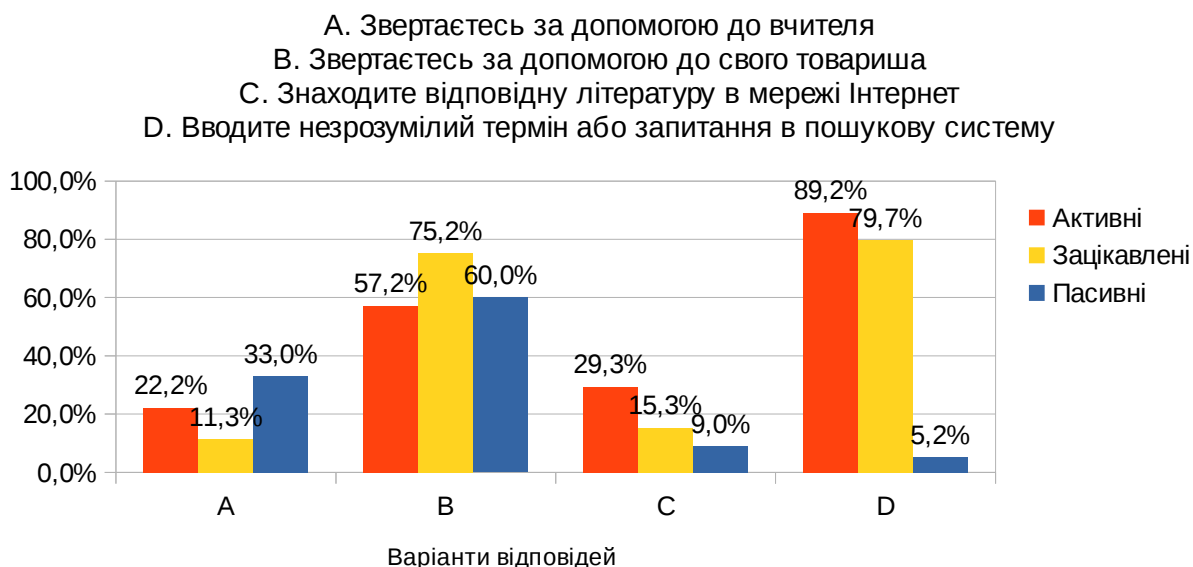
Наші спостереження за навчальним процесом показали, що у колективі учнів завжди можна виокремити схожі групи за Муром. З цією метою під час анкетування нами було спеціально складені запитання, щоб з'ясувати до якої групи за класифікацією Мура

належать учні (студенти). Окрім опитування, ми проводили бесіди із учителями та учнями, спостерігали за поведінкою учнів під час уроків, коли останні зверталися за допомогою не до вчителя, а застосовували пошукові системи на мобільних пристроях. Усіх опитуваних було умовно поділено на три групи: *активні* учасники (інноватори та ранні адоптери); *зацікавлені* учасники (рання більшість) та *пасивні* учасники (пізня більшість та відстаючі). У кожній групі проводились опитування. З'ясувалося, що група активних учасників (новаторів та ранніх адоптерів) корелює із частиною учнів (студентів), що потрапили до групи респондентів, які найчастіше використовують календар, хмарні сервіси, офісні програми, онлайн-перекладачі та ігри (діаграма 3.2.). Таким чином, новатори у використанні мобільних технологій також готові до застосування вказаних технологій у навчанні. Це підтвердили додаткові опитування, проведенні в групі активних учасників (новаторів та ранніх адоптерів). Переважна більшість учнів цих груп ствердно відповіли на запитання «чи згодні Ви навчатися через мобільний пристрій протягом дня у зручний для Вас час — читати навчальну літературу, переглядати навчальне відео, обговорювати в чаті теми занять із товаришами та учителем?» — 90% від опитаних. Серед новаторів більшість, (89,2%), відповідаючи на запитання «якщо зустрінеться незрозумілий фрагмент тексту чи певне питання ...», обрали відповідь «вводжу незрозуміле запитання в пошукову систему». Цей варіант відповіді обрали також більша частина ранніх адоптерів — 79,7% від опитаних. На діаграмі 3.4. показано як розподілились на це запитання відповіді учнів, які належали до різних груп. Аналіз діаграми показує, що усі три групи приблизно однаковою мірою готові діяти згідно з варіантом В — «Звертаюсь за допомогою до свого товариша»: 57,2% — активні користувачі мобільних технологій, 75,2% — зацікавлені користувачі і 60% — пасивні користувачі. Це наштовхнуло нас на думку про застосування групових методів роботи спільно з мобільними технологіями. При організації обговорень тем, розв'язуванні задач, виконанні спільних проектів тощо важливо, щоб до кожної групи входили активні користувачі мобільних технологій. На ранній стадії, коли учні формують групи користувачів — активних, зацікавлених і пасивних, зацікавленість новою технологією навчання (застосування мобільних пристроїв для навчання) стає основною мотивацією їх нової навчальної діяльності. Тому включення активних учасників до

створюваних груп під час навчального процесу, дозволить швидко подолати прірву до ранніх адоптерів (зацікавлених користувачів).

Діаграма 3.4. Результати опитування трьох груп. Підсумовуючи, можна відзначити наступне.

Якщо Вам незрозумілий фрагмент тексту чи певне питання, то Ви:



1. Модель Мура досить наближено віддзеркалює життєвий цикл упровадження нової технології навчання, зокрема мобільної технології. Це пов'язано з тим, що ця модель вироблена Джефрі Муром на основі досвіду ринкових відносин і стосується маркетингу щодо поширення нової технології як товару, а відтак відносини між користувачами нових технологій, з точки зору Мура, характеризуються передусім зв'язками між засобами виробництва (продуктами, послугами) та соціальними вимогами і споживчими вподобаннями. Натомість, стосунки між учнями та учителем, між учнями всередині класного колективу не підпадають під маркетингові закони споживання, а відповідають педагогічним законам, закономірностям і принципам. Проте, існує аналогія між групами споживачів нових технологій та групами учнів як «споживачів» нових технологій в навчанні. Спільна риса між цими групами (реальними споживачами ринку та учнями) полягає в однаковій мотивації новаторів — інтерес, зацікавленість новою технологією як новаторів-

споживачів, так і новаторів-учнів. Практика свідчить, що учні досить жваво цікавляться ІТ-продуктами, які є предметом їх обговорення, використання у повсякденному житті.

2. У проведених нами опитуваннях серед учнів приймало участь 209 респондентів. На підставі анкетування та згідно з теорією Мура нами було виокремлено відповідні групи: новатори — 5 учнів, ранні адаптери — 14 учнів, рання більшість — 85 учнів, пізня більшість — 85 учнів, пасивні — 20 учнів. Для того, щоб переконатися у правильності обраних членів груп, ми провели додаткові бесіди з учнями та учителями, з тим, щоб з'ясувати на скільки учні цікавляться мобільними технологіями, в якій мірі готові їх застосовувати під час навчання і тощо. З'ясувалося, що якщо порівняти кількість учнів, готових до використання смартфонів і планшетів на уроках із кількістю тих учнів, що були розподілені за відповідними групами згідно теорії Мура (мал. 3.3), то кількість зацікавлених технологіями учнів значно перевищує кількість новаторів та ранніх адаптерів. Тому ми об'єднали ранніх адаптерів та ранню більшість в одну групу — зацікавлених користувачів. Новаторів залишили окремо, оскільки це, зазвичай, учні, які не просто зацікавлені новими технологіями, а розуміються на їх технічних характеристиках, схильні до засвоєння нової інформації, пов'язаної із складною термінологією, фізичним змістом понять, які застосовуються в мобільних технологіях. Група відстаючих користувачів (Laggards) в учнівських колективах виявилась загалом малочисельною. Це пов'язано з тим, що більшість учнів розуміють необхідність застосування мобільних технологій у контексті навчального процесу і сприймають це як цікаве урізноманітнення навчального процесу. Тому пізню більшість та відстаючих за термінологією Мура, ми об'єднали в одну групу — пасивні користувачі.

3. Більшість учнів психологічно готові до використання мобільних технологій у навчальному процесі. Слід відзначити, що описаний нами вище поділ на групи (активні, зацікавлені та пасивні) досить умовний і швидкоплинний. Учні, які пасивно ставились до навчання з використанням смартфонів після першого або кількох уроків змінювали думку і активно включались у процес. Проте, на початку експериментального навчання, описувана Муром прірва між ранніми адаптерами та ранньою більшістю, завжди існувала (як початкова умова для будь-якого учнівського колективу).

Висновки до розділу III

1. Методична система навчання квантової фізики складається з теоретичної моделі та дидактичного проекту, що реалізує модель на практиці. Теоретична модель забезпечує наступні критерії: цілепокладання; напрямленість; технологічність; методологічність.

2. У межах пропонованої методичної системи навчання квантової фізики цілепокладання відбувається у три етапи: 1) визначення декларативної мети — формування компетентностей на основі технології розвитку критичного мислення; 2) формулювання конкретної мети, що пов'язана із декларативною метою — формування предметної компетентності з квантової фізики, ключової компетентності уміння навчатись впродовж життя та наскрізного уміння критично мислити; 3) для досягнення поставлених цілей відібрано відповідні технології навчання: технологія розвитку критичного мислення, інтерактивні технології кооперативного навчання, технологія мобільного навчання. Відбір вказаних технологій дозволив виокремити навчальні субцілі конкретних уроків при вивченні певних тем або розділів курсу фізики.

3. Направленість методичної системи навчання квантової фізики впливає із головної мети цієї системи — формування у старшокласників відповідних компетентностей при вивченні квантової фізики. Направленість методичної системи визначає не мету (це вже здійснено при цілепокладанні), а вибір відповідної стратегії навчання — відмова від знанєвої парадигми, орієнтація на компетентісно орієнтовані технології, зокрема, технології критичного мислення, мобільного навчання тощо.

4. Технологічність методичної системи забезпечується застосуванням методів та засобів навчання квантової фізики в старшій школі, які можна адекватно відтворити в умовах навчального процесу в межах відповідних технологій навчання. Дотримання критерію технологічності методичної системи досягається шляхом дотримання відповідних педагогічних закономірностей та застосування методів навчання під час експериментального навчання. Відповідно до даного критерію, розроблено технологію проектування методичної підсистеми формування предметної компетентності з квантової фізики. Для розробки технології проектування методичної підсистеми формування предметної компетентності виконано наступні кроки: визначено змістову компоненту предметної

компетентності в частині квантової фізики; визначено функції компетентностей у навчанні квантової фізики; визначено структуру навчальної компетентності з квантової фізики (назва, тип, об'єкти, способи діяльності відносно обраних об'єктів); визначено дерево компетентностей.

5. Критерій «методологічність методичної системи навчання квантової фізики» означає відповідність змісту методичної системи сучасним методам дослідження фізичної науки та вироблення на цій основі методичних ідей, змістових ліній викладу навчального матеріалу з квантової фізики відповідно до навчальних програм таким чином, щоб забезпечити формування предметної та ключової компетентності на основі інтеграції таких технологій навчання: технології розвитку критичного мислення; інтерактивних технологій кооперативного навчання; технології мобільного навчання.

6. У світовій шкільній практиці все більшого поширення набувають методики навчання, які передбачають залучення до навчального процесу технологій, пов'язаних із мобільними пристроями та портативними носіями інформації, хмарними сховищами, інтернет-технологіями «доповненої реальності» тощо. «Технологічність» навчання фізики в сенсі її технічного оснащення означеними технологіями потребує врахування в будь-якій методичній системі таких методів навчання, які б дозволили «втручання» сучасних інтернет-технологій у хід навчання з метою його корегування як на стадії процесу, так і на завершальній стадії отримання результатів навчання.

Розділ IV. Реалізація методичної системи навчання квантової фізики у курсі старшої школи

4.1. Методичні особливості формування критичного мислення при вивченні теми «Квантова оптика» у курсі фізики 11 класу

Нижче буде описано методику вивчення відомостей із квантової оптики відповідно до гіпотетико-дедуктивної концепції, що передбачає формування компетентностей (предметної та ключової компетентності “уміння вчитися”) та критичного мислення як наскрізного уміння в межах методичної системи навчання квантової фізики у старшій школі.

Дедуктивні та індуктивні аспекти мисленнєвої діяльності індивідуума являються одним із вирішальних рушіїв когнітивного розвитку і відіграють важливу роль у набутті ним навичок логічного мислення та в засвоєнні нової інформації. Використання індуктивного методу передбачає спочатку проведення спостережень та накопичення емпіричних фактів, а потім висунення на їх основі гіпотези. Натомість при використанні дедуктивного методу розпочинають із гіпотези, яка піддається всебічній критиці на основі спостережень або міркувань із опорою на фізичні закони, положення, принципи тощо. У другому випадку формулюванню гіпотези обов'язково має передувати чітко окреслена проблема, інакше втрачатиметься сенс у її висуненні. Індуктивний підхід необов'язково розпочинається із постановки проблеми, адже накопичення фактів і спостережень лише згодом може призвести до протиріччя із раніше добутими дослідними даними. Коли потрібно розв'язати проблему (дати відповідь на запитання або розв'язати задачу) дедуктивний метод передбачає висунення гіпотези, а потім збирання фактів, які дозволять підтвердити або спростувати гіпотезу. Проте, важливою є не сама схема дедуктивного пізнання, а спосіб, у який вона здійснюється. Можна висунути яку завгодно гіпотезу і завжди знайти факти та інтерпретувати їх на її користь і звідси зробити хибний висновок про підтвердження гіпотези. Тому важливо при перевірці гіпотез застосовувати критичний раціоналізм — піддавати гіпотези критиці, спираючись на результати експерименту, застосовувати критичне мислення (мислення вищого порядку) для того, аби шукати

не підтвердження, а спростування висунутій гіпотезі.

Реалізація гіпотетико-дедуктивної моделі в межах пропонованої методичної системи вивчення квантової фізики відбувалась наступним чином.

1. Постановка навчальної проблеми.

Постановка навчальної проблеми передбачає протиріччя між наявними знаннями учнів, та новим матеріалом, який слід засвоїти. На наш погляд, більш доцільно у методичному сенсі, якщо ці протиріччя будуть залучені із тканини фізичної теорії, яка вивчається на адекватному рівні у старшій школі. Як уже було показано в попередньому розділі, такі протиріччя особливо яскраво проявились під час становлення квантової теорії та подальшому розвитку квантової механіки. При постановці проблемної ситуації, ми виходили із наступних педагогічних умов: навчальна проблема має бути доступною для учнів; проблема за змістовим наповненням повинна знаходитись у межах сформованих знань учнів і не виходити далеко за ці межі; розв'язання проблеми учнями має призводити до їх активної навчальної діяльності; проблема, що пропонується учням для вирішення, повинна відповідати навчальними цілями.

2. Висунення гіпотези, що має на меті розв'язати поставлену проблему.

Формулювання гіпотези полягає в тому, що припускається існування причинно-наслідкового зв'язку між двома (або кількома) змінними. Сформулювати гіпотезу, означає вказати на причини, чому між змінними існує зв'язок. Змінні можуть приймати більше одного значення (необов'язково числові). Для того, щоб навчати учнів висувати та перевіряти (обирати) гіпотези, їх формулювання можна умовно розділити на кілька етапів:

- Вибір змінних.
- Введення робочих означень змінних.
- Формулювання гіпотези як припущення про причинно-наслідковий зв'язок між кількома змінними.

Методику навчання учнів висувати гіпотезу умовно можна поділити на два етапи. Перший етап — учитель, використовуючи новий навчальний матеріал, демонструє, як слід міркувати щоб висунути гіпотезу. На другому етапі, при викладі нового навчального матеріалу (наступних тем або розділів), це саме виконують учні під керівництвом учителя. Згодом, коли вони набудуть стійких навичок із формулювання припущень, вони здатні самостійно висувати гіпотези.

Покажемо це на прикладі вивчення явища зовнішнього фотоефекту.

Учитель починає урок із структурованого огляду — короткого повідомлення (5 хв), щоб підготувати учнів до сприйняття нової теми та підвищити в них зацікавленість.

Учитель. Сьогодні ми будемо вчитися думати як справжні вчені. Для цього вам потрібно навчитися робити припущення (висувати гіпотези) та перевіряти їх істинність. Зробити це можна на прикладі цікавого явища — фотоефекту.

Демонстрація №1.

До електрометра приєднували ретельно зачищену цинкову пластинку. Учням повідомляли, що пластинка заряджена негативно. Якщо пластинку освітлювати електричною дугою або ртутно-кварцевою лампою, то стрілка електрометра спадає. Протягом хвилини подумайте над трьома запитаннями:

9. Про що свідчить рух стрілки електрометра?

10. Пластинка мала надлишок чи недостачу електронів до освітлення?

11. Що можна сказати про кількість електронів на пластинці після її освітлення?

Потім поверніться до свого партнера — учня, який сидить за столом біля вас, — та обміняйтеся своїми відповідями.

Через хвилину вчитель запрошує до відповіді учнів із трьох пар. Слухаючи їх відповіді, підсумовує: рух стрілки електрометра свідчить про те, що він швидко розряджається. Оскільки пластинка спочатку була заряджена негативно, значить надлишок електронів на пластинці зменшився.

Учитель. Тепер давайте розберемось як правильно формулюється гіпотеза. Уявіть, що ви відкрили це явище і вам потрібно зробити припущення, яке дозволить пояснити, чому електрометр розряджається, коли його освітлюють світлом або куди діваються надлишкові електрони, коли пластинку освітлюють світлом?

Для того аби сформулювати гіпотезу (припущення) потрібно кілька кроків. Крок перший: встановлення змінних. Змінні можуть бути залежними і незалежними. Залежні — це ті, які обираємо ми (залежать від нашого вибору). Незалежні — це ті, які не залежать від нашого вибору. Наприклад, у розглянутому вище досліді, розряджання пластинки — це незалежна змінна. Вона може приймати два значення — “пластинка розряджається” або “пластинка не розряджається”. Залежні змінні ми обираємо на власний розсуд.

Можна змінити частоту світла, можна змінити заряд пластинки і подивитись, яке значення прийме змінна величина, можна вимкнути світло. Отже, змінюючи залежні змінні, спостерігаємо, що відбувається із незалежною змінною («розрядження пластинки»), які значення вона приймає («розряджається» або «не розряджається»).

Змінними можуть бути будь-які величини або навіть події, явища або процеси. Характерна ознака змінних — приймати певне значення (необов'язково числове, наприклад, змінна «звичка користуватися однією рукою» може приймати такі значення: «правша», «лівак», «однакове володіння обома руками»). Змінна може бути незалежною змінною (це така змінна, яку обирає дослідник) і залежна змінна (яка змінюється залежно від процесів, що відбуваються). Головне — незалежна змінна не змінюється, а залежна змінюється.

У цьому випадку маємо дві змінних: розрядження пластинки і освітлення пластинки світлом. Між ними існує причинно-наслідковий зв'язок.

Якщо врахувати все вище викладене, можна сформулювати наступну гіпотезу: *світло викидає електрони з поверхні пластинки; коли пластинка заряджена негативно, електрони відштовхуються від неї й електрометр розряджається*. Отже, сформульована гіпотеза, сповна пояснює продемонстрований дослід. Проте, цю гіпотезу слід піддати критичному аналізу і переконатися, що вона достатньо пояснює зв'язок між змінними. *Явище викидання електронів із речовини під дією світла називають фотоефектом*.

На такому найпростішому прикладі учитель демонструє, як саме можна висувати припущення. Проте, в описану вище гіпотетико-дедуктивну схему, гіпотеза про причини розрядження освітленої пластинки не вкладається у тому сенсі, що гіпотеза має стосуватися положень теорії. Проте її формулювання учителем носить пропедевтичний характер, щоб учні бачили, як формулювання гіпотези “працює” для пояснення нових явищ. Далі, вивчаючи фотонну теорію світла, учні разом із учителем сформулюють кілька нових гіпотез стосовно цієї теорії, що й буде відповідати згаданій схемі.

3. Раціональна оцінка і критичний аналіз гіпотези та її вибір з-поміж інших.

Тепер, сформульовану у попередньому пункті гіпотезу, яка пояснює явище зменшення заряду пластинки при освітленні її світлом, слід піддати критичному аналізу.

Раціональна оцінка та критика гіпотези — важливий етап із формування навичок критичного мислення, оскільки саме під час перевірки гіпотези відбувається включення “механізмів” критичного мислення. Тому вкажемо спочатку на ряд суттєвих моментів щодо даного етапу.

Перевірити гіпотезу, означає довести наявність причинно-наслідкового зв'язку між змінними величинами. Якщо маємо дві або більше гіпотез, то обираємо саме ту, для якої такий зв'язок вдається довести з опорою на фізичні закони та закони логіки. Важливим чинником є пошук не підтвердження гіпотези, а пошук фактів, які її спростовують. У науковому пізнанні цей процес досить складний і подекуди тривалий — можуть пройти роки або десятки років досліджень, поки відкриється новий емпіричний факт, що спростує раніше нібито підтверджену гіпотезу (історія науки знає й значно більші терміни, коли нібито усталена і завершена теорія кілька тисяч років панувала як істинна аж поки не виявилась хибною внаслідок відкриття і накопичення нових емпіричних фактів). Проте, в навчальному процесі можна підібрати та сформулювати гіпотези так, щоб показати, як пошук нових фактів, ідей та висновків із теорії може привести до спростування певних гіпотез, покладених в основу теорії, і які раніше вважались такими, що найкраще пояснювали механізм протікання того чи іншого фізичного явища або розкривали сутність певних закономірностей у межах розглядуваної теорії. Здійснити це можна, по-перше, з опорою на історію відкриття фізичного закону або явища; по-друге, через навчання учнів мислити критично. Тому під час дискусій або застосування інших інтерактивних технологій навчання, здійснювався акцент на умінні застосовувати закони фізики і закони логіки для критичного аналізу положень теорії. Зазвичай спираються на чотири закони логіки: закон тотожності, закон несуперечності, закон виключення третього і закон достатньої підстави.

Перевірка та критичний аналіз гіпотези відбувався у три етапи:

1. Вибір способу вимірювання змінних.
2. Застосування принципів ізоляції та контролю.
3. Висновок про існування (або відсутність) причинно-наслідкового зв'язку між змінними (кореляція і причинний зв'язок).

У досліді із цинковою пластинкою змінними величинами є заряд пластинки та її освітлення. Згідно першого пункту обирали спосіб

вимірювання змінних. Учитель пояснював, що заряд на пластинці можна оцінити за допомогою електрометра, оскільки не потрібно точно знати його значення, а лише факт зміни величини заряду. Освітлення можна характеризувати різними фізичними величинами — частота, інтенсивність, світловий потік. Наприклад, якщо прийняти за вимірювання змінної світловий потік, то відповідно збільшуючи або зменшуючи світловий потік і спостерігаючи як це впливає на швидкість розрядження пластинки, можна прийти до висновку, що збільшення світлового потоку призводить до пришвидшення розрядження пластинки. Наступний крок — застосування принципів ізоляції та контролю. Суть даного підходу полягає в тому, щоб виключити інші змінні окрім двох — освітленість та розрядження пластинки. Для цього проводили евристичну бесіду або застосовували технології кооперативного навчання для обговорення наступних питань: чи впливають інші фактори на розрядження пластинки? Чи впливає на протікання фотоефекту частота світла? Величина світлового потоку? Інтенсивність випромінювання? Учні пропонували змінити експеримент із освітленням пластинки так, щоб з'ясувати відповіді на поставлені запитання. Зрештою під час обговорення виникла ідея нового досліду: освітити пластинку заряджену позитивним зарядом. Якщо заряд не спадатиме, то це буде свідчити, що висунута гіпотеза правильна і під дією світла електрони вириваються з металу.

Останній крок — висновок про існування причинно-наслідкового зв'язку. Такий зв'язок у цьому випадку існує між освітленням пластинки та вириванням електронів.

4. Формулювання положень (постулатів) нової теорії.

Аналогічним чином, висуваючи гіпотези щодо пояснення фотоефекту, розбирали механізм його протікання. Спираючись на підтвердження цих гіпотез, формулювали положення теорії фотоефекту. В основі теорії лежать закони фотоефекту:

1. Кількість електронів, вирваних світлом з поверхні металу за 1 с, прямо пропорційна поглинутій енергії світлової хвилі.
2. Максимальна кінетична енергія фотоелектронів зростає лінійно з частотою світла і не залежить від його інтенсивності.

Особливо зверталась увага учнів на принцип ізоляції — коли для встановлення функціонального зв'язку між двома змінними, треба щоб інші змінні були фіксованими. Наприклад, зв'язок між частотою

світла і максимальною кінетичною енергією фотоелектронів слід вивчати (досліджувати) для однакових металів, щоб виключити зв'язок між частотою світла і роботою виходу електрона з поверхні металу. Також, щоб показати незалежність кінетичної енергії від інтенсивності світла, учням пояснювали, що слід незмінним залишати частоту світла і матеріал металу і тощо.

5. Раціональна критика нової теорії.

Критика теорії схожа на етап раціональної критики гіпотези. Це важливий етап має привчати учнів до того, що прийняття гіпотези не означає її остаточну істинність, яка вже не підлягає сумніву. Навпаки, вчені завжди готові під впливом нових фактів замінити гіпотезу або удосконалену теорію на таку, що краще їх пояснює. Тому, піддаючи критиці теорію, з'являється можливість показати межі застосування теорії та розвиток науки загалом.

6. З'ясування наукових проблем нової теорії, можливі варіанти їх усунення.

Після того, як основні положення теорії з'ясовані, учитель пропонував подумати над питаннями, які теорія не здатна пояснити. Наприклад, фотонна теорія світла не здатна пояснити явища дисперсії, інтерференції, дифракції. Навпаки, цікавим для учнів виявилось питання щодо обґрунтування явища фотоефекту на основі хвильової теорії. Остання здатна так само як і фотонна теорія пояснити фотоефект, проте лише один-єдиний факт спростовує хвильову теорію фотоефекту — безінерційність цього явища.

У методичному контексті останній пункт розглядуваної схеми вивчення фізичної теорії, дозволяє логічно перейти до вивчення наступних тем елементів квантової теорії. Особливо це вдалося реалізувати при вивченні відомостей про будову атома.

Одним із важливих експериментів, який у методичному плані можна успішно використати для формування поняття “фотон” є дослід Боте. Нижче викладений варіант його використання для класів із поглибленим вивченням фізики.

Дослід Боте (профільний рівень).

Програмою з фізики (профільний рівень) пропонується до вивчення дослід Боте, який має слугувати доказом існування фотонів. Нижче буде розглянуто особливості вивчення відповідних відомостей та пов'язані з цим методичні проблеми і можливі шляхи їх вирішення. Спочатку вкажемо на історію походження означеного дослідів та суть

фізичних процесів, покладених у його основу.

У 1925 р. Вальтер Боте (W.Bothe, 1891—1957) виконав дослід із виявлення квантів рентгенівського випромінювання. Принципова схема установки досліду зображена на рис. 1. Тонку мідну або залізну фольгу F розташовували між двома однаковими лічильниками Гейгера G_a і G_b , які незалежно один від одного були з'єднані із самопишучими пристроями a та b . Потрапляння до одного з лічильників фотону викликало його швидке спрацювання (менш, ніж через $0,001\text{с}$) і автоматичну реєстрацію відповідним пристроєм (a чи b) на рухомій смужці паперу P . У результаті цього на цій смужці з'являлась мітка (риска). Якщо лічильники, поглинаючи кванти рентгенівського випромінювання, спрацьовували одночасно, то на смужці з'являлися риси одна напроти одної. Поява мітки лише на одному краю смужки свідчила про те, що тільки один лічильник поглинув фотон.

Під час досліду фольгу F опромінювали жорстким (короткохвильовим) рентгенівським випромінюванням R . У результаті опромінення фольги, остання ставала джерелом характеристичного випромінювання (рентгенівська флуоресценція). Тепер джерелом електромагнітних хвиль була фольга F . Поширюючись від вторинного джерела F , хвиля мала б одночасно досягти лічильників G_a і G_b . У такому разі на смужці паперу мали б з'являтися мітки одна напроти одної через певні проміжки часу (із незначними відхиленнями).

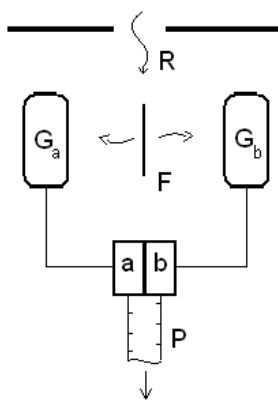


Рис. 1. Схема досліду Боте

Натомість проведений дослід показав, що мітки на смужці з'являлися неодноразово, тобто їх поява не співпадала у часі. Звідси робився висновок про існування фотонів – квантів електромагнітного випромінювання. Відповідно до хвильових уявлень енергія рентгенівської флуоресценції, попри її незначну величину, мала б

переноситись хвилями в обидва боки до лічильників за однаковий проміжок часу, а відтак спрацювання лічильників відбувалося б майже однаково. Однак, дослід показав, що лічильники спрацьовували хаотично і незалежно одне від одного. Це відповідало квантовим уявленням: рентгенівське випромінювання поширювалося у вигляді квантів (фотонів), які виявлялися у певний момент часу випадково напрямлені до одного з лічильників. Саме цим і пояснюється неодночасне спрацювання лічильників.

Описаний вище експеримент, без сумніву, має методичну цінність як досить просте і наочне підтвердження існування квантів електромагнітної енергії. Однак, попри його методичну привабливість, існує методологічна недосконалість даного дослідження. Щоб розкрити її суть, розглянемо механізм протікання рентгенівської флуоресценції. В результаті одного елементарного акту квант рентгенівського випромінювання повністю поглинається атомом речовини, який переходить у збуджений стан (рис. 2). Поглинання кванту речовиною означає, що ця порція енергії повністю передається одному з електронів внутрішніх оболонок (наприклад, електрону 1 з К-оболонки) збудженого атома і в результаті цього електрон 1 вибивається з атома. Утворена вакансія 1 заповнюється одним із електронів (наприклад, електроном 3 з L-оболонки), який перебуває на більшому віддаленні від атомного ядра, а відтак знаходиться у стані із більшою енергією порівняно з вакантним станом 1. Різниця цих енергій визначає енергію і у вторинного фотона, що випромінюється атомом як квант рентгенівського характеристичного випромінювання. Випускання вторинного фотона, внаслідок переходу електрона з верхніх орбітальних шарів на нижчі, називається флуоресценцією.

У досліді Боте випромінювання, що падає на фольгу, очевидно, переводить у збуджений стан випадкову групу (або групи) атомів. Інтерференція хвиль, випромінюваних цими атомами як елементарними осциляторами, може давати кутову діаграму випромінювання, що несиметрична відносно лічильників. Для абсолютної доказовості досліді Боте треба бути упевненим, що випромінює у фіксований момент часу один атом, і саме від одного атома фотони випадково потрапляють то в один, то в другий лічильник (хоча не обов'язково випромінений фотон мусить потрапити в лічильник). Однак, описана вище установка досліді, не передбачає фіксацію певного атома, тому такої впевненості немає.

Для більшої переконливості результатів дослідів Боте варто навести приклади сучасного використання рентгенівської флуоресценції в науці і на виробництві. Це явище покладено в основу роботи сучасних рентгенівських спектрометрів. Рентгенофлуоресцентна спектрометрія (загальноприйняті скорочення РФС або XRF) – метод аналізу атомарного складу речовин із метою виявлення концентрації хімічних елементів від берилію до урану у речовинах та матеріалах різного походження. В основу роботи спектрометрів покладено залежність інтенсивності рентгенівської флуоресценції (вторинного рентгенівського випромінювання) від концентрації елемента, який потрібно виявити у досліджуваному зразку. При опроміненні зразка жорстким рентгенівським випромінюванням виникає характеристичне флуоресцентне випромінювання атомів (як у досліді Боте), яке пропорційне їх концентрації у зразку. Потім, отримане флуоресцентне випромінювання розкладають у спектр, який обробляється методами математичної статистики. Це дозволяє провести кількісний та якісний аналіз складу досліджуваного зразка.



Рис. 2. Виникнення рентгенівського характеристичного випромінювання $K\alpha$ лінії в результаті флуоресценції.

Розрізняють два типи спектрометрів – хвиледисперсійні (скорочено ХД або WD XRF) та енергодисперсійні (скорочено ЕД або ED XRF). У перших використовують хвильові властивості вторинного рентгенівського випромінювання: флуоресцентне випромінювання розкладається у спектр за допомогою кристалів-монокроматорів (аналізаторів) шляхом дифракції падаючих на кристал хвиль. У

енергодисперсійних спектрометрах використовуються квантові властивості вторинного рентгенівського випромінювання: реєструється увесь діапазон енергій вторинного випромінювання від зразка, а виділене випромінювання потрапляє в детектор, у якому вимірюється кількість фотонів, що попадають у детектор щосекунди. На відміну від лічильника Гейгера, такий детектор працює як фотоелемент або як напівпровідниковий детектор. Робота останнього ґрунтується на іонізації всередині напівпровідника.

Рентгенофлуоресцентний аналіз використовують у наукових дослідженнях для з'ясування наявності тих чи інших хімічних елементів у речовинах і матеріалах. Особливо широке застосування цей метод отримав у дослідженнях складу мінералів і руд.

Таким чином, дослід Боте слід використовувати не як безпосередній доказ існування фотонів, а лише як одне з дослідних підтверджень існування цих частинок. Варто також звернути увагу на явище, покладене в основу цього досліду – рентгенівську флуоресценцію. Корисно навести приклади використання цього явища в сучасній рентгенівській спектрометрії, що значно підвищить доказовість досліду Боте і дозволить поглибити знання учнів із пропованого питання та переконає їх у існуванні квантів рентгенівського випромінювання.

Вивчення відомостей про фотони пов'язане із методичним та методологічними складнощами, суть яких у наступному. Поняття “фотон” має два трактування. З одного боку, фотон – це фундаментальна нейтральна безмасова частинка, належить до класу бозонів (має цілий спін 1), є переносником електромагнітної взаємодії. Водночас фотоном було названо квант світла (квант електромагнітного поля), що має енергію та імпульс. Поєднання одним терміном кванту світла і частинки, пов'язано лише з тим, що квант світла за властивостями схожий на частинку: має імпульс та енергію, рухається з певною швидкістю. Водночас фотон має властивості, яких не мають частинки: при нульовій швидкості фотон не існує, немає власної поверхні та об'єму, нелокалізований у просторі. З точки зору методології науки більш важливим у рамках квантової оптики є евристичне використання поняття “квант світла” для пояснення механізму протікання явищ, які неможливо пояснити з позицій хвильової теорії (фотоефект, ефект Комптона, люмінесценція). Загострення уваги на кванті електромагнітного випромінювання як на частинці, породжує протиріччя, викликане

ненаочністю цього поняття, оскільки будь-яка частинка для учнів є класичним об'єктом – займає певний простір, локалізована в ньому, має масу, імпульс та енергію. Абстрагуючись від конкретної частинки, учень так чи інакше переносить властивості частинок на будь-які об'єкти, що відносяться до класу частинок. Тому фотон в уяві учня – частинка, яку можна уявити як кульку зі скінченними розмірами, масою та імпульсом. Особливо такому уявленню сприяли пояснення вчителя щодо маси фотона. Так, у методичній літературі та підручниках можна зустріти твердження про те, що фотон має масу. Для того, аби узгодити це із відсутністю фотона при його нульовій швидкості, вводили без належного обґрунтування поняття “динамічна маса”, “маса спокою”, “релятивістська маса”. Для пояснення походження динамічної маси, використовували зв'язок між енергією і масою та (забуваючи, що зазначена формула стосується, по-перше, енергії спокою, а, по-друге, застосовується до частинок, що мають масу). Усе це лише переконувало учнів у тому, що фотон — це частинка, яка за властивостями близька до інших частинок – молекул, атомів та електронів.

Аналіз науково-методичної літератури, проведені спостереження і бесіди з учителями нашої школи надали нам на припущення щодо методики формування понять “квант електромагнітного поля” та “фотон”. Для пояснення фотоефекту, тиску світла, досліду Боте достатньою і необхідною умовою буде використання лише терміна “квант світла” (“квант електромагнітного випромінювання”). На користь цього припущення можна пригадати історію успішного створення Ейнштейном теорії фотоефекту та теорії теплоємності твердих тіл. Розробляючи ці теорії, Ейнштейн оперував виключно поняттям “квант електромагнітного випромінювання”, не допускаючи думки про те, що квант — це частинка. Використовуючи замість фотону квант світла, можна: а) значно зменшити інтелектуальне навантаження на учнів, пов'язане із протиріччями між класичними та квантовими уявленнями про частинки; б) уникнути плутанини з чисельними масами (динамічною, спокою, релятивістською та ін.), натомість формувати правильне уявлення про відсутність у фотона маси; в) сповна використати евристичну силу ідеї про квант світла при поясненні відповідних явищ. Лише згодом, вивчаючи елементарні частинки, можна буде повернутися до поняття фотона як фундаментальної частинки, яка у фізиці високих енергій відіграє важливу роль в обмінних процесах, покладених в основу механізму

фундаментальних взаємодій. Одним із найвизначніших досягнень квантової фізики є встановлення єдності механізмів фундаментальних взаємодій, яка полягає в елементарних актах випускання і поглинання взаємодіючою частинкою іншої обмінної частинки, клас якої визначає тип взаємодії.

Таким чином, після того, як буде розглянуто механізм протікання зовнішнього фотоефекту, утворення тиску світлом на поверхню тіл, ефекту Комптона, доцільно вводити поняття про частинку фотон, спираючись на дослід Боте. Такий підхід дозволить привести у відповідність зміст наукових понять квантової оптики зі змістом понять, що вивчаються у курсі фізики старшої школи. Наведемо методичні рекомендації щодо введення поняття “фотон”.

Після того, як учні засвоїли навчальний матеріал про фотоефект, тиск світла, ефект Комптона, переходили до вивчення досліду Боте. Спочатку учитель проводив бесіду за наперед підготовленими запитаннями, під час якої нагадував учням, що пояснити вказані вище явища і процеси вдалося саме спираючись на поняття “квант світла” або “квант електромагнітного випромінювання”. Причому, в окремих випадках кванти енергії підпорядковуються законам збереження енергії та імпульсу і саме цим схожі на частинку (поводять себе як сукупність квазічастинок). Наприклад, пояснити ефект Комптона можна лише виходячи саме з таких уявлень. Учитель наголошував, що фотоефект і ефект Комптона неможливо пояснити, спираючись на хвильову теорію.

Далі вчитель розповідав, що у 1926 році американський хімік Гільберт Льюїс (G.N.Lewis, 1875—1946) запропонував увести в науковий обіг термін “фотон”. Тут можна навести його слова, написані ним у тому ж 1926 році: “...я дозволю собі запропонувати для цього гіпотетичного нового атома, який не є світлом, але приймає суттєву участь в усіх процесах випромінювання, назву фотон” .

Після цього вчитель перераховував властивості фотона:

- Фотон – ультрарелятивістська частинка, оскільки її швидкість у вакуумі є завжди c . Фотон у спокої не існує.
- Фотон не є просторово локалізованим об’єктом, тобто неможливо визначити його положення у просторі.
- Згідно з сучасними експериментами, маса фотона близька до нуля з величезною точністю:
- Сукупність фотонів має певну масу, водночас як маса окремого фотона $m_0 = 0$. Ненульова маса сукупності фотонів впливає з неадитивності

маси в теорії відносності.

- Неадитивність маси означає, що повна маса m_n системи із n частинок не дорівнює сумі мас окремих частинок, які входять до цієї системи.
- Так само, як і для електромагнітних хвиль, для фотонів також спостерігаються явища інтерференції і поляризації. Сучасні дослідження свідчать, що ці суто хвильові явища можна спостерігати для п'яти, чотирьох, трьох фотонів (для так званих “заплутаних квантових станів” (entangled states)) і навіть за участі одного фотона.
- У фізиці високих енергій фотон належить до класу фундаментальних частинок, із спіном 1, що дозволяє говорити про нього як про бозон.

Оскільки фотон – релятивістська частинка, варто нагадати учням основні положення спеціальної теорії відносності та її наслідки, що стосуються фотона. З цією метою учням пропонували такі запитання: 1. Чи може фотон перебувати в стані спокою в якій-небудь інерційній системі відліку? 2. Як, знаючи масу та швидкість релятивістської частинки, визначити її енергію? Імпульс? 3. Який зв'язок між повною енергією та імпульсом релятивістської частинки?

Після цього вчитель розповідав про дослід Боте, демонстрував схему досліду (рис. 1). Для учнів, які поглиблено вивчають фізику, варто пояснити також механізм протікання рентгенівської флуоресценції, навести у якості прикладу застосування цього явища на практиці (рентгенівські спектрометри).

На завершення відзначимо, що застосування у шкільній практиці підходу, заснованого на вище викладеному науково-методичному аналізі та методиці вивчення відомостей про дискретність електромагнітного випромінювання, дозволяють на якісно новому рівні формувати основні поняття квантової оптики у профільних класах із поглибленим вивченням фізики.

4.2. Методика формування навичок критичного мислення при вивченні теми «Будова атома»

Історія становлення та розвитку теорії будови атома, відкриття законів за якими відбувається рух електронів в електронних оболонках атомів, як найкраще підходять для демонстрації розвитку фізичної науки з позицій критичного раціоналізму, а відтак —

дозволяють формувати в учнів навички критичного мислення. Вивченню відомостей про будову атома в курсі фізики старшої школи передусь ознайомлення учнів із ідеєю атомно-молекулярного вчення, якою пронизаний увесь курс фізики як основної так і старшої школи. Учням власне відома складна будова атома та прояв цієї структурної організації в фізичних та хімічних явищах, що вивчалися у курсі фізики та хімії. У зв'язку з цим, при розробці методичної підсистеми вивчення будови атома, був зміщений фокус із формування знань цієї теорії, на застосування методологічного наукового інструментарію так, щоб показати учням, як теорія утворюється і розвивається в ході відповідних етапів її побудови.

Нами було розроблено два методико-методологічних концепти щодо вивчення будови атома. *Перший підхід* заснований на індуктивно-емпіричній схемі навчального процесу, що передбачає наступну послідовність викладання навчального матеріалу:

- накопичення емпіричних фактів, які входять у протиріччя із положеннями традиційної (класичної) теорії;
- формування гіпотези, яка дозволить пояснити нові факти;
- розробка на основі підтвердженої гіпотези математичної моделі та її експериментальна перевірка;
- формулювання положень теорії та її наслідків;
- експериментальна перевірка цих наслідків (верифікація теорії).

Описана послідовність близька до гносеологічного циклу суспільно-історичного процесу наукового пізнання: *наукові факти — проблеми — гіпотези — теоретичні висновки, верифікація положень теорії*. Такий підхід у методичній площині першість віддає експерименту, яким розпочинається вивчення відомостей про теорію будови атома і ним же завершується. Тут маємо віддзеркалення ходу досліджень, що були загальноприйнятим у класичній фізиці, тому це може застосовуватись в адекватній формі в навчальному процесі для вивчення класичних або напів-класичних теорій. Теорію Бора традиційно розглядають як напівкласичну, оскільки її математичне обґрунтування засновано на положеннях класичної фізики, а відтак теорію будови атома водню можна вивчати за описаною вище методико-методологічною схемою. У методичному аспекті перевагою цього підходу є його відповідність філософії класичної фізики, коли спочатку створювали теоретичну модель на основі накопичених нових емпіричних даних, потім з'ясовувались зв'язки між фізичними величинами у вигляді математичних рівнянь, які зрештою

перевірялись експериментально. Учні на момент вивчення будови атома в старшій школі вже знайомі з класичним підходом, оскільки саме в такому методологічному контексті вивчались класична механіка Ньютона, теорія всесвітнього тяжіння, молекулярно-кінетична теорія речовини та ін. Недоліком індуктивно-емпіричної схеми є вивчення теорії Бора як напівкласичної. Класичний підхід більш зрозумілий учням у силу своєї наочності та логіки викладу навчального матеріалу (про яку вже йшлося вище). Однак квантова теорія заснована на кардинально новій методології наукових досліджень, що передбачає когнітивну обробку нових об'єктів, які неможливо унаочнити не лише внаслідок їх складної ієрархії в системі наукових понять, що мають складний математичний апарат опису, а й внаслідок нової посткласичної методології досліджень, яка набула широкого застосування під час створення квантової механіки. Як було показано у першому розділі, характерною ознакою нового підходу є зміна напрямку дослідження. Так, згідно з класичним уявленням, спочатку створювали математичну модель, яку перевіряли експериментально. У сучасній фізиці існує й інший підхід, який став загальноприйнятим: спочатку, без опори на експеримент, створюється система рівнянь, яка підпорядковується наступній логіці. Рівняння підбираються на основі екстраполяції таким чином, щоб отримати нові співвідношення, які будуть відповідати новим емпіричним даним. Для цього рівняння інтуїтивно видозмінюють, навіть запозичують рівняння із суміжних галузей фізичної науки, вносять відповідні коефіцієнти та наповнюють новим змістом фізичні величини, що входять до цих рівнянь. Проте, такий підхід важко застосувати в шкільній фізиці навіть у зміненому та пристосованому до навчальних умов вигляді. Тому нами було із описаного методологічного прийому запозичено лише ідею — не давати учням готових знань, скеровувати процес пізнання таким чином, щоб учні шляхом припущень та їх спростування приходили до необхідних висновків. Інструментарієм, який дозволить це здійснити без спотворення логіки викладу навчального матеріалу, може бути концепція критичного мислення. Таким чином, ми прийшли до необхідності застосування *критичного раціоналізму*, основна ідея якого полягає не в застосуванні індукції як панівного методу пізнання від окремих емпіричних фактів до узагальнень та не в застосуванні дедукції, як методу просування від загальних і очевидних положень “чистого розуму” до часткових випадків, а шляхом проб і помилок,

висунення гіпотез та їх спростувань чи підтвердження на основі раціональної критики. У філософській літературі (в гносеології), описаний підхід отримав назву гіпотетико-дедуктивний. Підкреслимо, що в розроблюваній нами методичній системі, методи індукції та дедукції не відкидаються, а застосовуються як методи пізнання в технології критичного мислення. Тому застосований нами підхід поєднує емпірично-індуктивний та гіпотетико-дедуктивний підходи.

Таким чином, *другий підхід*, розроблений нами в рамках пропонованої методичної системи, передбачає залучення *дедуктивно-гіпотетичного* підходу та визначає наступну послідовність вивчення відповідного навчального матеріалу:

- постановка проблеми;
- висунення гіпотези, за допомогою якої можна розв'язати навчальну проблему;
- критичний аналіз гіпотези;
- формулювання положень теорії;
- критичний аналіз та постановка нової проблеми, що впливає із положень теорії.

Далі буде показано, як обидва підходи — індуктивно-емпіричний та гіпотетико-дедуктивний — були використані при розробці методики вивчення будови атома.

1. Накопичення емпіричних фактів, які входять у протиріччя із положеннями традиційної (класичної) теорії.

Згідно з індуктивно-емпіричним підходом виклад навчального матеріалу здійснювався з опорою на емпіричні дані. Залежно від того, на якому рівні вивчався матеріал з фізики (рівень стандарту чи профільний), учням викладались відомості про експериментальні дані: а) результати досліду Резерфорда (рівень стандарту та профільний рівень); б) формула Бальмера та спектри випромінювання атома Гідрогену (профільний рівень).

а) дослід Резерфорда.

Важливою складовою методики навчання квантової фізики, зокрема вивчення будови атома, є висвітлення історичних фактів і відповідних результатів дослідів, що привели до створення сучасної теорії атома. Які переваги такого навчання? Вивчення фундаментальних фізичних експериментів і дослідів, на основі яких було відкрито складну будову атома, дозволяє ознайомити учнів із

науковими фактами, які утворюють емпіричний базис теорії будови речовини. Разом з тим, вивчення фундаментальних дослідів та здійснених на їх основі відкриттів будови речовини, створює педагогічні умови, за яких учні зможуть поглянути на результати експериментів очима їх першовідкривачів, простежити за ходом міркувань, досягнути логіку і наукові підходи до пізнання природи. Зрозуміло, що отримані в результаті такої навчальної діяльності відомості про фундаментальні дослідів, емпіричні поняття і закони, повинні бути подані в адекватній навчальному процесі формі і за логікою та послідовністю викладу відповідати структурі теорії будови речовини, відповідно до чинної програми. Як показали наші дослідження, це дозволяє успішно формувати в учнів навички *критичного мислення та відповідні компетентності*.

Які виникають перешкоди при застосуванні зазначеного підходу до вивчення відомостей про будову атома?

По-перше, методична особливість їх викладання полягає в тому, що через складність експериментального устаткування, дослідів з атомної фізики не завжди можуть бути відтворені в умовах шкільної лабораторії. По-друге, ознайомлення учнів з історичними і науковими фактами, результатами експериментів, новими (для учнів) науковими відкриттями учених-фізиків, організоване тільки як читання відповідних фрагментів тексту, нівелює евристичну складову ідей, покладених в основу цих відкриттів. Використання активних методів навчання (в класичному, традиційному розумінні), наприклад, таких як евристична бесіда, розповідь, пояснення і тощо, також не буде цілком ефективним. Останнє твердження базується на результатах спостережень за навчальним процесом, бесіди з учителями та учнями. Ці дослідження показали, що:

- обговорення учнями ідей і фактів, про які вони дізналися з розповіді вчителя або після прочитаного фрагменту тексту за заздалегідь підготовленими питаннями, помітно активізує їх навчальну діяльність, однак вони залишаються на рівні сприйняття і засвоєння інформації, яку їм подають, у той же час залишаються без уваги аспекти активізації мислення високого рівня (порівняльний аналіз, узагальнення, критичне ставлення до почутого і прочитаного і тощо);
- навіть якщо вчитель методично грамотно організовує демонстрацію комп'ютерної моделі дослідницької установки, залучає учнів до активного обговорення нових фактів і понять,

мотивація цієї пізнавальної діяльності залишається низькою;

- методи навчання, покликані підвищити навчальну активність учнів, все ж спрямовані на засвоєння знань. Поза увагою вчителя залишаються важливі ключові компетентності — навчальна (уміння вчитися) і соціальна (здатність жити в соціумі, враховуючи інтереси і потреби різних груп, вміння співпрацювати з різними партнерами і тощо.).

Щодо соціальної компетентності необхідно підкреслити наступне. Останнім часом, коли розвиток інформаційних та інтернет-технологій все більше превалюють у соціальному середовищі, а вміння співпрацювати все частіше визнається як життєво необхідна навичка для продуктивної роботи за певною спеціальністю, стає очевидним той факт, що не так важливо володіти знаннями, як умінням їх використовувати для особистісного зростання і розвитку, збереження свого здоров'я, розвитку кар'єри і тощо в демократичному суспільстві.

Як поєднати процес формування компетентності співпраці та ознайомлення з емпіричною базою сучасної теорії атома? Незважаючи на велику кількість варіантів вирішення цієї проблеми, нами було зроблено припущення, що це можливо завдяки кооперативному навчанню. Як показали подальші дослідження, це припущення в цілому виявилось правильним. Саме методи кооперативного навчання дозволяють учням опановувати навичками міжособистісного спілкування. Це можливо, коли учні працюють у малих групах, а вчитель спрямовує цей процес, спираючись на інтерактивні методи кооперативного навчання. У той же час це дозволяє подолати зазначені вище труднощі: підвищити мотивацію навчання і сприяти вихованню учнів через колектив; підвищити самооцінку учнів через спілкування в малих групах із людьми протилежної статі і з різних соціальних груп, різної навчальної успішності і тощо; залучити учнів до мислення високого рівня (критичне мислення), що відповідає за обробку інформації та генерування нових ідей, наукових фактів, коли потрібно запропонувати власну інтерпретацію розглянутих питань, критично осмислити пропозиції партнерів по групі і дійти спільної думки, щоб вирішити навчальну проблему.

Нижче викладено сценарій уроку із застосуванням методів кооперативного навчання на прикладі вивчення відомостей про дослід Резерфорда. Наведені далі діалоги вчителя й учнів — можливий варіант розвитку подій на уроці, проте не слід забувати основної

думки, яка повинна постійно звучати протягом усього уроку і віддзеркалювати його дидактичну мету. Діалоги можуть бути не точно такими, як описані нижче, але спрямованість на ключові моменти і висновки повинні залишатися незмінними. Це досягається шляхом відбору вчителем тих відповідей і пропозицій учнів, спираючись на які, можна дотримуватися головної мети уроку.

1.Актуалізація. Урок починають зі структурованого огляду — короткої вступної розповіді вчителя, покликаної направити думки учнів у потрібному напрямку для актуалізації їх знань про будову атома.

Учитель. Електризація тіл, електричний струм в металах і напівпровідниках, у вакуумі, в газах та електролітах — всі ці електричні явища переконливо свідчать про існування електрично заряджених частинок, що входять до складу атомів. У 1897 був експериментально відкритий електрон — частинка з елементарним електричним зарядом, яка є складовою атома. Дослідження оптичних спектрів хімічних елементів переконали учених в тому, що атомам кожного хімічного елемента властиво власне випромінювання. Це свідчило про те, що атоми кожного виду мають свою внутрішню структуру.

Таким чином, до складу атома входять позитивно і негативно заряджені частинки. В цілому атом нейтральний. Маса електронів у кілька тисяч разів менше маси атомів. Протягом хвилини подумайте, яким може бути будова атома? Потім поверніться до свого партнера — учня, який сидить за однією партою з вами, — і обміняйтеся своїми відповідями. Через хвилину вчитель запрошує до відповіді учнів з трьох пар.

Пара 1. Ми думаємо, що оскільки атом нейтральний, то кількість позитивно і негативно заряджених частинок повинна бути однаковою.

Учитель. Дійсно, в нейтральному атомі кількість електронів і протонів однакова. Наприклад, атом водню — це позитивно заряджена сфера радіусом близько 10^{-10} м в якій знаходиться електрон. У більш складних атомах є кілька електронів, тому позитивно заряджених частинок (протонів) теж більше. Отже, можемо стверджувати, що в нейтральному атомі кількість негативно і позитивно заряджених частинок повинна бути однаковою. Добре, а що можна сказати про розподіл маси між цими частками? Як розподілена маса в атомі? На що більше припадає маса атома на його

позитивно чи негативно заряджену частину атома? Інакше кажучи, яким знаком заряджена основна маса в атомі — позитивним чи негативним знаком? Можливо половина маси атома заряджена негативно, а інша половина — позитивно?

Протягом хвилини подумайте, а потім поверніться до свого партнера — учня, який сидить поруч з вами, — і поділіться своїми відповідями.

Пара 2. Оскільки маса електрона в кілька тисяч разів менше маси атома, то в нейтральному атомі основна його маса повинна припадати на позитивно заряджену частину.

Учитель. Цілком логічно. Якщо основна маса атома заряджена позитивно, значить слід з'ясувати, як розподілений позитивний заряд по об'єму атома. Якщо вдасться це пояснити, то в кінцевому підсумку буде зрозумілою його будова.

Ключовий момент. Ученим необхідно було дослідити розподіл маси в атомі. Це завдання можна було вирішити тільки одним способом — з'ясувати, як розподілений позитивний заряд в об'ємі атома. У той же час, атомні спектри — важливі наукові факти, які є ключем до пізнання будови атома [3, с. 46]. Вчитель враховував, що аналіз цих фактів швидше призводить до розуміння законів руху складових частин атома, ніж розуміння його будови і структури [4, с. 30]. Так, відповідно до класичних уявлень атом міг би випромінювати монохроматичну хвилю, що дозволяє спостерігати спектральну лінію. Тоді необхідно припустити, що електрон в атомі гармонійно коливається під дією квазіпружної сили $F = -kx$, де x — відхилення електрону від положення рівноваги. Саме виходячи з таких міркувань була розроблена модель атома Томсона: першу модель атома запропонував В. Томсон (Кельвін), але в подальшому досить докладно розвинув її Дж.-Дж. Томсон, припустивши розташування електронів за рівнями (згодом цю ідею використовував Н. Бор).

Учитель. На початку XX ст. було відомо кілька моделей атома, які по-різному розглядали розподіл позитивного заряду в об'ємі атома. Англійський фізик Дж.-Дж. Томсон в 1903 році запропонував модель атома, за якою його представляли як рівномірно заряджену позитивною електрикою сферу, всередині якої «вкраплені» електрони (кекс з родзинками).

Отже, на даному етапі розвитку теорії будови атома з'явилися такі питання: яка структура атома? які частки входять до його складу, як вони розміщені в атомі? яка природа сил, що утримують ці

частинки всередині атома? як розподілена маса в атомі і чи дійсно основна його маса заряджена позитивно? Поверніться до учня, який сидить поруч з вами. Згадайте три-чотири відомі вам факти, які ви знаєте про будову атома, — те, в чому ви більш-менш упевнені. Не обмежуйте себе тільки тими фактами, які ми щойно згадали. Обговоріть ці факти і виберіть ті, які вам здаються найбільш переконливими.

Учитель креслив таблицю «Що знаємо? — Що хочемо дізнатися — Що дізналися?» На дошці:

Що знаємо?	Що хочемо дізнатися?	Що дізналися?

Далі вчитель просив пари учнів назвати будь-які факти, які вони вибрали, — з того, що їм відомо про будову атома (моделі атома), і записував їх в таблицю в графі «Що знаємо?».

Що знаємо?	Що хочемо дізнатися?	Що дізналися?
Атом в цілому нейтральний. Маса всіх електронів в 1000 раз менше маси атома. Модель атома Томсона: розмір атома 10^{-10} м, позитивно заряджена сфера, в якій вкраплені електрони; коли атом збуджений, електрони коливаються, якщо ж знаходяться в незбудженому стані — не рухаються.		

Під час бесіди учитель запитував учнів про те, в чому вони не впевнені, і допомагав їм перетворити їх сумніви в питання, записуючи їх у таблицю в графу «Що хочемо дізнатися?». Учні разом з учителем заповнювали таблицю:

Що знаємо?	Що хочемо дізнатися?	Що дізналися?
Атом в цілому нейтральний. Маса всіх електронів в 1000 раз менше маси атома. Модель атома Томсона: розмір атома 10^{-10} м, позитивно заряджена сфера, в якій вкраплені електрони; коли атом збуджений, електрони коливаються, якщо ж знаходяться в незбудженому стані - не рухаються.	Чи справді вся маса атома позитивно заряджена? Як структурно розташована позитивно заряджена маса атома? Чому атом нейтральний і стійкий? Чому атом випромінює і поглинає енергію, хімічно взаємодіє з іншими атомами, а його властивості періодично повторюються?	

Для того, щоб відповісти на всі питання, які занесені в таблицю, приступали до вивчення досліду Резерфорда.

2. Побудова знань.

Вивчення нового навчального матеріалу — це та частина уроку, коли учні «проводять дослідження» і конструюють нові знання про будову атома. На цьому етапі уроку використовували кілька методів і один з них — «Читання з маркуванням тексту». Суть методу полягає в тому, що учні читали текст і шукали в ньому певні факти. У них була чітка вказівка позначити спеціальними символами (відмітками) ті місця в тексті, де мова йшла про те, що вони шукали.

Перед тим як застосовувати метод читання з маркуванням тексту, учням демонстрували комп'ютерну модель досліду Резерфорда і пояснювали принциповий пристрій експериментальної установки. Для того, щоб обробити результати цих дослідів застосовували зазначений вище метод.

Учитель. Всі ви маєте екземпляри тексту зі статті Е. Резерфорда «Розсіювання α - і β -частинок речовиною і будова атома» [4, с. 160—163].

Кожен раз, коли вам зустрінеться уривок, у якому йдеться про результати досліду Резерфорда, на полях ставите позначку +. Коли

вам зустрінеться уривок, у якому описується модель атома Томсона, на полях ставте позначку Т. Кожен раз, коли вам зустрінеться уривок, у якому описані взаємодії заряджених частинок, які відбуваються за законом Кулона, на полях ставте позначку К. Нарешті, коли ви зустрінете відомості про кути, на які відхилялися α -частинки, на полях ставте позначку α .

Нижче наведений уривок із тексту, який надавався учням для роботи зі статті Е. Резерфорда «Розсіювання α - і β - частинок речовиною і будова атома» [5, с. 160].

Зазвичай передбачалося, що розсіювання пучка α - або β -променів при проходженні через тонку пластинку речовини є результат накладення численних малих розсіювань при проходженні атомів речовини. Однак спостереження, проведені Гейгером і Марсденом з розсіювання α -променів, показали, що деяка кількість α -частинок при одноразовому зіткненні відхиляються на кут, більший 90° . Вони виявили, наприклад, що невелика частина падаючих α -частинок, приблизно 1 з 20000, повертається в середньому на 90° при проходженні крізь шар золотої фольги товщиною 0,00004 см, що еквівалентно гальмуванню α -частинки в 1,6 мм повітря. Гейгер пізніше показав, що найбільш вірогідний кут відхилення пучка α -частинок, що проходять крізь золоту фольгу зазначеної товщини, становить близько $0,870$. Простий розрахунок, заснований на теорії ймовірності, показує, що ймовірність відхилення α -частинки на 90° зникаюче мала. До того ж, як буде видно з подальшого, кутовий розподіл α -частинок при великих відхиленнях не підкоряється ймовірнісним законам, якщо вважати, що такі великі відхилення є результатом великої кількості малих відхилень. Мабуть, розумніше припустити, що відхилення на великий кут обумовлені одноразовим атомним зіткненням, тому що ймовірність такого ж повторного зіткнення в більшості випадків надзвичайно мала. Подальші розрахунки показали, що в атомі має існувати сильне електричне поле, щоб при одноразовому зіткненні створювалося таке велике відхилення.

3. Закріплення вивченого матеріалу. Це частина уроку, коли учні обмірковують те, що вони дізналися, застосовують ці ідеї і переосмислюють все те, що вони знали до уроку, в контексті вивченого. На представленому тут уроці, повторення нового навчального матеріалу здійснювалося в ході завершення заповнення таблиці «Що знаємо — Що хочемо дізнатися — Що дізналися» і

«Розв'язання фізичної задачі в парах».

Учитель. А зараз подивимося, про що ми дізналися з уривка статті Резерфорда. Спочатку мені цікаво почути, чи змогли ви знайти відповіді на питання, які ми занесли в таблицю. Будь ласка, об'єднаєтеся в пари, прочитайте питання з колонки «Хочемо дізнатися» і подивіться, чи знайшли ви відповіді на них. Я даю вам на це дві хвилини.

Через дві хвилини учитель просить учнів почати відповідати.

Учень 1. Дійсно, основна маса атома доводиться на його позитивно заряджену частину.

Учитель. Тоді відповідь на перше питання — «Так», і він записує це в таблицю в колонку «Що дізналися». Але треба з'ясувати, як саме розташована ця частина маси в об'ємі атома.

Учень 2. У статті йдеться про те, що позитивний заряд, розподілений по всьому об'єму атома, не може створити таке інтенсивне електричне поле, яке могло б відкинути α -частинку назад.

Учитель. Але в тій частині статті, яку ви прочитали, немає цього обґрунтування. Виникає питання: чи може атом, що має розміри близько 10^{-10}м , відкинути α -частинку, яка рухається з величезною швидкістю $1,9 \cdot 10^7\text{м/с}$ і має позитивний заряд? Учитель записував числові значення цих величин на дошці.

Учень 3. Я думаю, що може. Адже кулонівська сила здатна зупинити α -частинку.

Учень 4. Мабуть відповісти на це питання неможливо, оскільки ми не знаємо, що буде більше — енергія α -частинки чи енергія поля, утвореного позитивно зарядженим атомом.

Учитель. Для того, щоб відповісти на це питання, давайте вирішимо завдання методом «Рішення задач у парах».

Далі вчитель пояснював суть запропонованого методу. Учні пропонували розв'язати задачу:

Задача. Яким повинен бути заряд кулі q діаметром 10^{-10}м (розмір атома), щоб відкинути α -частинку назад? [6, с. 319].

Учитель. Протягом 2—3 хв розв'яжіть задачу, а потім поверніться до свого партнера — учня, який сидить поруч з вами, — і поділіться своїми відповідями. Вам необхідно прийти до спільної думки і зробити висновок, про кількість електронів які повинні компенсувати позитивний заряд q в нейтральному атомі. Під час розв'язання задачі врахуйте, що швидкість α -частинки $v = 1,9 \cdot 10^7\text{м/с}$. Також зауважте, що потенціальна енергія електричного поля

$$W_p = \frac{q \cdot q_\alpha}{\pi \epsilon_0 r}.$$

зарядженого атома визначається формулою

Через 5—7 хв учитель запитував пари учнів, до якого спільного висновку вони прийшли, розв'язавши задачу.

$$\frac{q \cdot q_\alpha}{\pi \epsilon_0 r} = \frac{m_\alpha \cdot v^2}{2},$$

Пара 3. Застосувавши формулу ми отримали, що заряд атома здатний зупинити α -частинку, дорівнює $q \approx 5 \cdot 10^{-14} \text{ Кл}$ (учитель записував цей результат на дошці, попередньо переконавшись, що усі учні отримали таку ж відповідь).

Пара 4. Розділивши отриманий результат на елементарний заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, ми отримали 320 000 елементарних зарядів. Проте це неможливо, оскільки нейтральний атом мав би мати містити стільки ж електронів.

Учитель. Отже, ваші розрахунки показали, що атом має надлишковий заряд? Як ви думаєте? Учні висували свої припущення, а учитель слідував за тим, щоб усі висунуті припущення підкріплювалися аргументами. Нарешті, на завершення дискусії, учитель підсумовував два варіанти: а) щоб пояснити результати дослідів Резерфорда, необхідно припустити, що позитивний заряд атома, рівномірно розподілений по його об'єму, значно перевищує те значення, ніж є насправді; б) заряд атома, насправді, значно менший, але і об'єм, по якому він розподілений, теж менший. Який з цих варіантів більш прийнятний? Обговоріть це в парах і через 2 хв дайте обґрунтовану відповідь.

Пара 5. Або ми допустили помилку в обчисленнях, або ж наші вихідні положення неправильні. Можливо розмір атома менший?

Пара 6. Добре, припустімо, що позитивний заряд атома менший. Чому звідси має впливати менший об'єм, по якому цей заряд розподілений?

$$F = \frac{q \cdot q_\alpha}{4\pi \epsilon_0 r^2}.$$

Пара 7. Тому що це впливає із закону Кулона Дійсно, згідно з цим законом, сила, з якою відбувається взаємодія α -частинки та позитивно зарядженої області атома, обернено пропорційна до лінійних розмірів r цієї області.

Пара 5. Це означає, що чим менший радіус r позитивно зарядженого об'єму, за незмінного q , тим більша кулонівська сила відкидання α -частинки від атома.

Пара 6. Значить збільшення кулонівської сили можливе не за рахунок збільшення заряду, а внаслідок дуже малої області позитивно

зарядженої частини атома. Адже ця область має бути дуже малою, оскільки в задачі ми отримали великий надлишковий заряд, його ж треба помітно зменшити. Чи не так?

Учитель. Так, абсолютно вірно. Враховуючи малу масу і заряд електрона, Резерфорд припустив, що α -частинка відкидається позитивно зарядженою частиною атома, яка згідно закону Кулона, повинна займати досить малий об'єм порівняно із розміром атома. Це і є ядро атома. Він оцінив розміри ядра і отримав 10^{-14} — 10^{-15} м (у різних ядер діаметри різні). Тепер зникає протиріччя з величезною кількістю електронів: зменшення радіуса зарядженої сфери (ядра) в 10^4 разів означає, що заряд ядра $q_{\text{я}}$ (і відповідна кількість електронів в атомі), відповідно закону Кулона, має бути меншим у стільки ж разів.

Завершувався розгляд досліду Резерфорда, заповненням третього стовпчика таблиці “Що дізналися?”.

б) формула Бальмера.

Учнів спочатку ознайомлювали із відомостями про випромінювання і спектри. Це дозволяло обґрунтувати, по-перше, електромагнітну природу різних випромінювань; по-друге, експериментально встановити зв'язок між характером випромінювання і структурою речовини.

На момент вивчення відомостей про будову атома, учням вже відомо про лінійчаті спектри і що кожний хімічний елемент має власний лінійчастий спектр. Учитель проводив бесіду, актуалізуючи ці знання. Світло має електромагнітну природу, а електромагнітні хвилі становлять собою особливий вид матерії. Відомо, що радіохвилі породжуються в коливальному контурі. Від чого залежить характер випромінювання радіохвиль? Відповідь очевидна — від характеристик коливальної системи. Перед учнями ставили наступне запитання: від чого залежить характер світлового випромінювання? Проводячи аналогію з попереднім запитанням, учні розуміли, що характер світлового випромінювання залежить від речовини, як випромінювальної системи. Оптичне випромінювання породжується атомами та молекулами. Таким чином, існує зв'язок між характером світлового випромінювання та структурою (будовою) речовини. Після цього учням повідомляли факти, які були відомі про спектр атома Гідрогена.

У 1885 р. І. Бальмер, учитель однієї із швейцарських шкіл, встановив для Гідрогену, що його частоти випромінювання у видимій частині спектру можуть бути визначені за простою формулою:

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (1)$$

де R — стала Рідберга, $R = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$, k — ціле число, що набуває значень 3, 4, 5 З'ясувалося, що отримана Бальмером формула “працює” не лише у видимій частині спектра, а й у інфрачервоній та ультрафіолетовій:

$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (2)$$

де n і k — цілі числа, $k > n$,

$$\text{або } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad \text{де } R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \quad (3)$$

Таким чином, створювана вченими теорія будови атома мала б пояснити, чому атоми випромінюють, утворюючи лінійчаті спектри. Якщо теорія атома вірна, то отримані частоти або довжини хвиль повинні відповідати результатам, які отримав Бальмер і співпадати з розрахунками, отриманими за формулами (1—3).

Використовуючи інтерактивні технології кооперативного навчання, учитель доводив учням, що викладені вище експериментальні результати входили в протиріччя із положеннями класичної теорії випромінювання атомів.

Світло — це електромагнітні хвилі. Проте світло випромінюється речовиною, наприклад, розжареними тілами. Аналогічно до випромінювання диполя, атоми речовини, що випромінюють світло, є такими собі мікровібраторами. Отже, згідно з класичним уявленням електрон в атомі рухається навколо ядра вздовж колової орбіти. Цей рух, як і механічний рух точки по колу можна розкласти на два взаємно перпендикулярних гармонічних коливання і звести випромінювання атома до випромінювання мікровібратора. Учні після обговорення цих відомостей разом із учителем, приходили до висновку, що головний недолік даної моделі полягає в тому, що вона не здатна пояснити, чому не випромінює незбуджений атом, хоч рух електронів по його орбітах є прискореним.

2. Формування гіпотези, яка дозволить пояснити нові факти.

Перед учнями ставилась навчальна проблема: як пояснити, що незбуджений атом не випромінює? Учитель пропонував учням висунути гіпотезу, яка б пояснила це протиріччя. Для того, щоб допомогти учням, питання змінювали, наприклад, так: чи існує зв'язок між частотою обертання електрона в атомі та частотою випромінювання світла цим атомом?

4.3. Методика розвитку критичного мислення при вивченні теми «Елементарні частинки»

Відомості про природу елементарних частинок, їх взаємодію та взаємоперетворення, як правило, викликають у старшокласників підвищений інтерес, оскільки мова йде про сучасний стан розвитку фізичної науки. Успіхи квантової фізики завжди перебувають у центрі уваги інтелектуальної частини суспільства і це цілком природно, адже вони мають досить широкий спектр застосування — від надзвичайних властивостей речовини, отриманих через використання нанотехнологій, до відкриття і дослідження таємниць еволюції Всесвіту. Важливо побудувати вивчення матеріалу таким чином, щоб підтримати цей інтерес і спонукати учнів до засвоєння вказаних відомостей через активну діяльність. Це покращить формування у них відповідних навчально-пізнавальних компетентностей.

У фізиці мікросвіт умовно поділяють на три рівні, які характеризуються масштабом R та енергією E . Перший рівень — молекулярно-атомний, для якого $R \sim 10^{-8} \dots 10^{-15}$ м, $E \sim 1 \dots 10$ еВ; другий рівень відповідає ядерній взаємодії, для якої $R \sim 10^{-14} \dots 10^{-15}$ м, $E \sim 10^6 \dots 10^8$ еВ. На третьому рівні розташовані частинки, які не відносяться до молекул, атомів або ядер (за винятком ядра атома водню — протона). Ці частинки традиційно названі елементарними (або суб'ядерними). Які саме частинки відносити до класу елементарних, до певної міри визначається науковцями, що працюють у цій царині науки. Рівень елементарних частинок поділено на два підрівні: адрони і фундаментальні частинки. Фундаментальні поділяють ще на три класи: лептони, кварки і переносники взаємодій.

Цілком природно, що з означенням цих частинок виникають методичні труднощі. У підручнику [277] елементарними частинками “...називають субатомні частинки (частинки, з яких складаються атоми) [262, с. 241]. У підручнику [95] спочатку викладено відомості про етапи розвитку фізики елементарних частинок і вказується, що існують безструктурні елементарні частинки (фундаментальні) і такі що мають структуру. Потім наводиться означення: “Елементарна частинка — збірний термін, що відноситься до мікрооб'єктів у суб'ядерному масштабі” [95, с.323]. У підручнику [9] означення цього поняття взагалі відсутнє (§59 “Елементарні частинки”, стор. 303-305). У науково-методичній літературі, як правило, загострюється увага на необхідності формування змісту поняття “елементарна частинка”. Пропонується розпочинати формування цього поняття з означення і

з'ясувати, що слід розуміти під терміном “елементарна частинка” [22, с.142]. Натомість автори [287] пропонують зосередитись на узагальненні вже пройденого: “На цьому етапі навчання задача полягає перш за все в тому, щоб повторити та узагальнити відомості про властивості вже вивчених елементарних частинок”[287, с. 311]. Остання теза цілком виправдана, проте існує набагато більше елементарних частинок, ніж ті, з якими учні вже ознайомлені (наприклад, античастинки). Можна вказати на ще одну, на наш погляд, важливу методичну особливість вивчення відомостей про мікрочастинки. Вивченню цієї теми передую навчальний матеріал із квантової оптики і елементів квантової механіки, при вивченні якого в учнів формується поняття про дискретний характер випромінювання і поглинання енергії, про кванти світла та квантову теорію загалом, її значення в сучасній фізиці. Вивчається цілий ряд явищ і квантових механізмів, які пояснюються на основі квантової теорії (фотоефект, ефект Комптона, дослід Боте, квантові переходи тощо). У процесі вивчення цього навчального матеріалу вводиться поняття “фотон”. Інші частинки, якими необхідно “оперувати” для опису вказаних явищ і процесів, учням вже відомі з курсу фізики основної школи, курсу хімії та біології. Тому цілком закономірною є рекомендація спиратися на вже засвоєний учнями навчальний матеріал про мікрочастинки. Однак, аналіз навчального матеріалу на якому відбувається формування поняття “елементарна частинка” показує, що ці уявлення переважно класичні, оскільки стосуються розділів фізики, де явища розглядаються на рівні класичних уявлень. Так, поняття електрона вперше вводиться у курсі природознавства, як складова атома, потім конкретизується у курсі хімії і фізики в основній школі (електричний струм, будова атома). Крім цього, для пояснення механізму протікання явищ фотоефекту, тиску світла, ефекту Комптона тощо почасти залучається класичний підхід, при якому елементарні частинки розглядаються як сповна класичні. Нижче буде описано методичний підхід, який дозволяє подолати це протиріччя.

Як вже відзначалося вище, у методичній літературі пропонується формування (або узагальнення) поняття “елементарна частинка” розпочати з уточнення його дефініції. Такий підхід є не зовсім ефективним, оскільки учні запам'ятовують чергове означення як догму без його практичного використання. Навчальний матеріал про елементарні частинки не містить формул або законів, правил,

принципів, які б дозволяли широко використовувати розв'язування навчальних фізичних задач, посильних для учнів 11 класу. Традиційно у методиці існував підхід, який передбачав спочатку формування теоретичних знань, а потім їх закріплення на практиці — під час розв'язування задач, виконанні фронтальних лабораторних робіт, вивченні наступного нового навчального матеріалу тощо. Така послідовність відбувалась як в межах одного уроку чи системи уроків, так і на рівні програм при вивченні відповідних тем чи розділів. Передбачалося, що учні спочатку мають набути знань, а потім отримані знання використовуватимуть на практиці, хоча шкільний досвід свідчить, що насправді, до застосування знань, як правило, справа не доходила. Учні намагаються прозвітувати перед учителем про засвоєний матеріал, який у більшій частині швидко забувається. Після цього їм необхідно засвоїти нові знання і тощо. Опитування, проведенні серед учителів, свідчать, що 75—80% усіх опитаних намагаються використати відведений час для повідомлення нових знань, натомість спираються на вже сформовані поняття фрагментарно, лише під час актуалізації навчального матеріалу (3—5 хв уроку) і трохи більше приділяють увагу закріпленню нового навчального матеріалу. За таких умов учень на занятті — пасивний слухач, який лише сприймає і запам'ятовує інформацію, щоб згодом відтворити її перед учителем. Для того, аби організувати вивчення відомостей про елементарні частинки як активне навчання, пропонуємо розпочати не з уточнення означення, а з виокремлення суттєвих ознак поняття “елементарна частинка”. Для цього слід організувати дискусію і сформулювати перед учнями просте, на перший погляд, запитання: з чого складається тіло? Можливі відповіді учнів: з молекул, атомів, нуклонів і т.д. Учитель пояснює, що відповідь на це запитання залежить від того, яку конкретну задачу розв'язує дослідник. Для ілюстрації цієї тези (або щоб підвести учнів до її усвідомлення), можна вдаватися до методів інтерактивного навчання [6], організувавши дискусію між “хіміками”, “класичними фізиками” та “фізиками високих енергій”. Перша група дасть відповідь — із молекул і атомів, друга відповідь — із протонів, нейтронів і електронів, а представники фізики високих енергій повідомлять сучасні уявлення — протони і нейтрони складаються із кварків. Чи означає це, що відповіді “хіміків” і “класичних фізиків” неправильні? Для того, аби з'ясувати хто ж зрештою правий, учитель організовує бесіду, під час якої доводить до відома учнів наступне.

Відповідь на питання “з чого складається тіло?” визначається вибором структурної частинки макроскопічної системи. А це визначається тим, яку задачу слід розв'язати дослідникові. Нехай задача полягає в тому, що необхідно пояснити спостережуване явище. Вчені-фізики шукають пояснення певної властивості макроскопічного тіла за наступною логікою: з'ясовують з яких мікроскопічних частинок складається тіло, як рухаються частинки і досліджують, який конкретно рух частинок “відповідає” за явище чи процес, який слід пояснити. Для пояснення різних властивостей тіл, необхідно заглиблюватись на різний рівень будови речовини — про це знають і з цим погоджуються усі три групи учнів (фізики, хіміки і представники фізики високих енергій). Адже досліджувана властивість тіла диктує, наскільки глибоко слід проникати в структурну організацію матерії і тим самим визначає, які саме частинки у цій задачі можуть бути прийняті за структурні одиниці тіла. Виникає наступне питання: чи тотожні поняття “елементарна частинка” і “структурна одиниця тіла”? Для того аби відповісти на дане питання, варто згадати метод дослідження будови речовини, який самі науковці називають ще як “метод осколків”. Учням нагадують дослід Резерфорда. Щоб дізнатися про складові певної частинки (наприклад, атома в досліді Резерфорда), її розбивають на “осколки”, бомбардуючи іншими частинками. Власне спосіб розбивання може бути яким завгодно. Проте, характер осколків залежить від того, наскільки значне зусилля було прикладене дослідником. Таким чином, поняття “структурна одиниця тіла” лише до певної міри співпадає із поняттям “елементарна частинка”, проте дані поняття нетотожні. Поняття “структурна одиниця” залежить від того, наскільки значне зусилля буде прикладене на розщеплення тіла або відповідної частинки на складові. Можна стверджувати більше — одна й та ж мікрочастинка за одних умов може бути структурною складовою матерії, а при інших умовах її не можна віднести до структурної одиниці. Останню тезу варто обґрунтувати на конкретних прикладах. Досліджується полікристал на певні властивості — міцність, пластичність, електропровідність, теплопровідність, температура плавлення. Для проведення таких досліджень достатньо знати, що полікристал має дрібнокристалічну структуру — складається із великої кількості дрібних хаотично розташованих кристалів — кристалітів (або кристалічних зерен). У цьому випадку кристаліт — структурна одиниця полікристалу. Якщо дослідження буде вимагати відповіді на

питання “яка природа спостережуваної електропровідності?”, то потрібно з'ясувати, з чого складається кристаліт. Якщо із нейтральних атомів, то цей кристал є напівпровідником, якщо ж з йонів — метал. Якщо досліджуваний кристал є металом, необхідно з'ясувати особливості будови його кристалічної ґратки: атом втратив Z валентних електронів тому йони у вузлах ґратки мають заряд $+Ze$ і слугують для вільних електронів джерелом поля, під дією сил якого рухаються вільні електрони. Отже, у цьому випадку структурні одиниці речовини — йони із зарядом $+Ze$ і електрони, які покинули атоми.

Відповідь на питання “з чого складається тіло?” визначається вибором структурної частинки макроскопічної системи. А це визначається тим, яку задачу слід розв'язати дослідникові. Нехай задача полягає в тому, що необхідно пояснити спостережуване явище. Вчені-фізики шукають пояснення певної властивості макроскопічного тіла за наступною логікою: з'ясовують з яких мікроскопічних частинок складається тіло, як рухаються частинки і досліджують, який конкретно рух частинок “відповідає” за явище чи процес, який слід пояснити. Для пояснення різних властивостей тіл, необхідно заглиблюватись на різний рівень будови речовини — про це знають і з цим погоджуються усі три групи учнів (фізики, хіміки і представники фізики високих енергій). Адже досліджувана властивість тіла диктує, наскільки глибоко слід проникати в структурну організацію матерії і тим самим визначає, які саме частинки у даній задачі можуть бути прийняті за структурні одиниці тіла. Виникає наступне питання: чи тотожні поняття “елементарна частинка” і “структурна одиниця тіла”? Для того аби відповісти на дане питання, варто згадати метод дослідження будови речовини, який самі науковці називають ще як “метод осколків”. Учня нагадують дослід Резерфорда. Щоб дізнатися про складові певної частинки (наприклад, атома в досліді Резерфорда), її розбивають на “осколки”, бомбардуючи іншими частинками. Власне спосіб розбивання може бути яким завгодно. Проте, характер осколків залежить від того, наскільки значне зусилля було прикладене дослідником. Таким чином, поняття “структурна одиниця тіла” лише до певної міри співпадає із поняттям “елементарна частинка”, проте ці поняття нетотожні. Поняття “структурна одиниця” залежить від того, наскільки значне зусилля буде прикладене на розщеплення тіла або відповідної частинки на складові. Можна стверджувати більше — одна й та ж мікрочастинка

за одних умов може бути структурною складовою матерії, а за інших умов її не можна віднести до структурної одиниці. Останню тезу варто обґрунтувати на конкретних прикладах. Досліджується полікристал на певні властивості — міцність, пластичність, електропровідність, теплопровідність, температура плавлення. Для проведення таких досліджень достатньо знати, що полікристал має дрібнокристалічну структуру — складається із великої кількості дрібних хаотично розташованих кристалів — кристалітів (або кристалічних зерен). У цьому випадку кристаліт — структурна одиниця полікристалу. Якщо дослідження буде вимагати відповіді на питання “яка природа спостережуваної електропровідності?”, то потрібно з'ясувати, з чого складається кристаліт. Якщо із нейтральних атомів, то кристал є напівпровідником, якщо ж з йонів — метал. Якщо досліджуваний кристал є металом, необхідно з'ясувати особливості будови його кристалічної ґратки: атом втратив Z валентних електронів тому йони у вузлах ґратки мають заряд $+Ze$ і слугують для вільних електронів джерелом поля, під дією сил якого рухаються вільні електрони. Отже, у цьому випадку структурні одиниці речовини — йони із зарядом $+Ze$ і електрони, які покинули атоми.

Існують задачі, вивчення яких потребує глибшого занурення у структурну організацію матерії. Наприклад, якщо розглядати явище відбивання металами електромагнітних хвиль (у курсі фізики це явище розглядається лише як їх властивість, без з'ясування механізму його протікання), то слід врахувати наявність у металах вільних електронів. Якщо ж вивчати поглинання світла металами, наприклад, фотоефект, то слід врахувати будову атомів і з'ясувати в якому стані перебуває електрон. Тепер роль структурних одиниць відіграють усі вільні електрони (а не лише валентні) і ядра атомів. Зрештою, якщо досліджувати ядерні реакції, то ядра не можна вважати структурними одиницями. Такими будуть нуклони, що входять до складу ядер.

Отже, чи є частинка структурною одиницею залежить, по-перше, від властивостей речовини, які досліджуються і, по-друге, від того, наскільки дрібними виявляться осколки, на які розділяють речовину. Властивості, які необхідно дослідити, часто змушують дослідника визначати масштаб осколків. Іноді це вимагає значних енерговитрат. Чим менший масштаб розглянутих деталей, тим більше значення енергій необхідно витратити (саме тому фізику елементарних частинок називають ще фізикою високих енергій).

Останнє твердження впливає із принципу невизначеностей: для виявлення деталей структури із розмірами порядку Δx потрібні зондуючі частинки із імпульсами p , не меншими. Наприклад, енергія 1000 ГеВ відповідає мінімальним відстаням 10^{-19} м.

Завершити вивчення відомостей про елементарні частинки варто викладом навчального матеріалу про експериментальну перевірку положень фізики високих енергій. З цією метою учитель розповідав про Великий адронний колайдер (англ. Large Hadron Collider, скорочено LHC) і Tevatron.

Описана вище методика вивчення відомостей про елементарні частинки на уроках фізики в 11 класі, дозволяє формувати в учнів навчально-пізнавальні компетентності.

Вивчення елементів квантової механіки у профільних класах із поглибленим вивченням фізики, створює передумови розвитку в учнів наукового світогляду, сучасних наукових уявлень про навколишній світ, його пізнаваність людиною. Зрозуміло, що простого накопичення наукових фактів у свідомості школярів для досягнення цих цілей недостатньо. Проявом критичного мислення учнів є вміння останніх порівнювати і аналізувати отриману інформацію, піддавати сумніву судження, вміння аргументувати власну думку тощо. Саме за таких умов проявляється "взаємодія" суб'єктивних переконань та об'єктивно-істинного знання і як результат — корекція певної спрямованості у пізнанні навколишнього світу. Спрямованість у бік наукової картини світу, дозволить не лише піднести розвиток інтелектуальних здібностей старшокласників, а й спонукати їх до свідомого, осмисленого застосування отриманих знань для розв'язування навчальних фізичних задач, а в майбутньому — задач і завдань, із якими вони стикатимуться у своїй професійній діяльності. Досягти цього можна, розв'язуючи проблему у двох аспектах - процесуальному і змістовому. У змістовому аспекті — шляхом відбору навчального матеріалу для класів з поглибленим вивченням фізики таким чином, щоб і за змістом, і структурно він відтворював (звичайно, лише частково) пошуковий характер діяльності вчених-фізиків. Процесуально — застосування таких методик або технологій, які б дозволили найбільш оптимально використати відібраний матеріал для формування в учнів навичок високого (критичного) рівня мислення. Відразу відзначимо, що система фізичного знання як зміст освіти не тотожна системі наукового знання. Кожна з них вирішує різні завдання — пізнавальні з одного боку і суто

дослідницькі — з іншого. В теорії змісту навчання існує поняття особистісного знання, яке є складовою системи наукового пізнання і водночас має суб'єктивну та об'єктивну складові. Результатом навчання фізиці має бути процес перетворення об'єктивних наукових знань в особисті і знання учнів. Саме в такому контексті розглянемо зміст навчального матеріалу з основ квантової фізики, який може бути успішно засвоєний учнями в умовах профільного навчання. Проблема трансформації наукового знання у систему навчального охоплює великий спектр питань від логіко-методологічних до психолого-педагогічних питань теорії змісту навчання. Проаналізуємо зміст навчального матеріалу з квантової фізики, який на сьогодні не включено до навчальних програм академічного рівня і який не віддзеркалений у нині діючих підручниках з фізики, однак який може успішно використовуватись у класах з поглибленим вивченням фізики або на факультативних курсах. Мова йде про ту частину квантової фізики, яка стосується до теорії суперструн. Ця теорія є, по суті, продовженням розвитку ідей квантової фізики, ідей висловлених ще у 1900 році М. Планком.

Проведемо ретроспективний огляд розвитку квантових уявлень від гіпотези М. Планка та спеціальної теорії відносності до сучасної теорії суперструн. Основний акцент зробимо на протиріччях і складнощах, з якими вчені-фізики зустрічались у часи зародження квантової теорії та на проблемах які стоять перед фізичною наукою сьогодні, оскільки виокремлення наукових проблем допомагає реалізувати гіпотетико-дедуктивний підхід, про який велась мова вище.

Фізика як наука представлена квантовою теорією мікросвіту і теорією макросвіту. Ці теорії мають спільні об'єкти дослідження, наприклад, космологічний сценарій Великого вибуху, питання структури простору-часу тощо. Результати останніх досліджень щодо другої проблеми мають непогані підтвердження в супутникових та астрономічних експериментах. Однак не все так однозначно. Квантова теорія мікросвіту має переконливі експериментальні підтвердження, коли об'єктом дослідження є мікрочастинки. Спільне ж використання цієї теорії з іншими, зокрема, із релятивістською фізикою макротіл, створює ряд проблем, які досі остаточно не вирішені.

Більшість науковців вважає, що саме теорія суперструн спроможна подолати проблеми спільного використання законів

квантової та релятивістської механіки. Вивчення елементів цих відомостей у профільних класах із поглибленим вивченням фізики, дозволить, на наш погляд, створити передумови наближення суб'єктів навчання до моделі наукового пізнання і продемонструвати генезис наукових понять, їх трансформацію залежно від появи нових емпіричних даних. Саме такий підхід є одним із багатьох можливих шляхів вирішення проблем перетворення об'єктивних знань в особистісні знання учнів. До вивчення елементів теорії суперструн можна приступати лише після ознайомлення учнів із основними класами елементарних частинок (див табл. 1). Як уже було сказано вище, теорія суперструн виникла в результаті протиріч, які виникали при спільному використанні релятивістської фізики та квантової механіки. Однак, створення А. Ейнштейном спеціальної, а згодом і загальної теорії відносності супроводжувалось протиріччями (точніше протиріччя слугували причинами створення СТВ та ЗТВ), які необхідно було розв'язати. Тому важливо розкрити ці протиріччя і продемонструвати учням логіку їх виникнення і розв'язання. Можна виокремити три таких протиріччя. Перше стосується властивостей поширення світла. Відповідно до законів механіки І. Ньютона, якщо об'єкт буде рухатись із швидкістю світла, то відносно нього швидкість поширення світла дорівнюватиме нулю, що входить у протиріччя до законів електромагнетизму Дж. К. Максвелла. А. Ейнштейн розв'язав цю проблему, створивши спеціальну теорію відносності.

Розв'язавши одну проблему, спеціальна теорія відносності породила нову. Відповідно до теорії гравітації І. Ньютона передача взаємодії передається миттєво на величезні відстані, що не відповідало положенням спеціальної теорії відносності. З метою вирішення цієї проблеми А. Ейнштейн запропонував нову концепцію теорії тяжіння, яка була покладена в основу загальної теорії відносності.

Основна ідея — поблизу масивного тіла структура простору-часу викривляється. Вказана кривизна впливає на інші тіла, які рухаються поблизу масивного тіла (наприклад, поблизу Сонця). Цю кривизну можна продемонструвати, провівши наступну аналогію. Простір можна зобразити у вигляді плоскої поверхні на яку нанесена сітка. Якщо у просторі відсутні будь-які тіла, він матиме вигляд плоскої поверхні. Якщо масивну металеву кулю покласти на гумову підставку, попередньо розкреслену "в клітинку", матимемо модель

викривленої структури простору (вважається, що час теж викривлено, однак для наочності це не враховується в даній моделі).

Якщо І. Ньютон вважав, що гравітація повинна передаватись через певний "посередник" (який саме І. Ньютон не вказував), то А. Ейнштейн поклав "обов'язки" посередника на структуру простору-часу. Проведені ним розрахунки показали, що викривлення простору (збурення) навколо масивного тіла поширюються із швидкістю світла у вакуумі. Тому гравітаційна взаємодія передається не миттєво, а із скінченною швидкістю ($3 \cdot 10^8$ м/с). І знову створення теорії відносності А. Ейнштейном стало передумовою нового (третього) протиріччя, яке за змістом було глибше і потребувало більших зусиль вчених для розв'язку. Забігаючи наперед, відзначимо, що вирішення саме третього протиріччя призвело до створення теорії суперструн, робота над якою триває й до сьогодні. Існують задачі, в яких тіла досить масивні і водночас мають мікроскопічні розміри. Наприклад, такі властивості буде мати речовина поблизу центру чорної діри або речовина Всесвіту 12—15 млрд. років тому, яка перебувала у сингулярному стані (у відповідності до гіпотези Великого Вибуху). Оскільки подібний об'єкт досить масивний, простір навколо буде викривлено. Тому для опису стану речовини необхідно спільне використання рівнянь квантової механіки та загальної теорії відносності. Однак, саме спільне використання цих рівнянь дало розв'язки, згідно з якими імовірність певних квантово-механічних процесів дорівнює нескінченності. Для з'ясування суті цього протиріччя необхідно розглянути кілька концептуальних положень квантової механіки.

А) співвідношення невизначеностей Гейзенберга.

У 1927 р. Вернер Гейзенберг, аналізуючи можливості вимірювання координати та імпульсу електрона (шляхом постановки мислених експериментів), прийшов до висновку, що якщо для визначення координати електрона його необхідно освітлювати світлом з довжиною хвилі λ , то це призведе до неозначеності координати x , причому координата матиме порядок довжини хвилі: $x \sim \lambda$. Для уточнення координати електрона необхідно, щоб довжина хвилі світла була найменшою. Однак, при взаємодії з електроном світло передає йому імпульс, який зростатиме при зменшенні довжини хвилі. Мінімальний імпульс, який може бути переданий, буде відповідати порядку імпульсу одного фотона $p_f = \frac{2\pi\hbar}{\lambda}$. Тому

невизначеність імпульсу електрона $\Delta p > 2\pi\hbar/\lambda$. Підставляючи x замість λ , будемо мати співвідношення невизначеностей Гейзенберга:

$$\Delta x \Delta p > 2\pi\hbar$$

Неозначеність імпульсу створює неозначеність енергії $\Delta E = \hbar/\Delta t$ (співвідношення неозначеності Бора). Тут важливо відзначити, що неозначеність має дещо глибший фізичний зміст, який пов'язаний не лише із актом вимірювання. В основному стані атома водню хвильова функція дає інтервал можливих значень координат електрона, який пов'язаний з інтервалом можливих значень імпульсу співвідношенням $\Delta p \Delta x > \hbar$. Це дозволяє оцінити радіус атома для інтервалу можливих значень координат. Звідси випливає висновок, що атом у збудженому стані має неозначену енергію. Вказана неозначеність пояснюється переходом на нижні рівні, що супроводжується випусканням кванту енергії. Неозначеність енергії дозволяє глибше поглянути на це питання і зробити ряд висновків.

Невизначеність, таким чином, виникає не лише тоді, коли експериментатор намагається провести вимірювання. Навіть якщо фотонів експериментатора не буде і вони не будуть вносити збурення у рух електрона, швидкість останнього буде раптово змінюватись у різні моменти часу. Із невизначеностей Гейзенберга випливає, що за умови абсолютного вакууму у кожній ділянці простору існує активність, яка зростає із зменшенням масштабів відстаней і часу цієї області простору-часу. У вакуумі відбувається безперервний хаотичний перенос енергії та імпульсу на мікроскопічних відстанях протягом надзвичайно коротких інтервалів часу. В результаті такої флуктуації енергії в абсолютному вакуумі може на короткий проміжок часу виникнути пара електрон-позитрон із анігіляцією цієї пари в наступну мить і "поверненням" енергії у вакуум (під час утворення частинки і античастинки енергія поглинається, під час анігіляції — виділяється). Інакше кажучи, співвідношення невизначеностей накладає обмеження на те, на скільки порожньою може бути певна область простору. Таким чином у Всесвіті постійно відбувається утворення і анігіляція частинок. Причому це стосується не лише електрон-позитронної пари. Під час інших явищ і процесів, які можуть відбуватись у вакуумі — народження і анігіляція інших частинок, сильних коливань інтенсивності електромагнітного поля, зміни полів сильної і слабкої взаємодії тощо — теж відбуваються у формі флуктуацій енергії та імпульсу протягом малих інтервалів часу на мікроскопічних масштабах. Саме ці хаотичні флуктуації слугують

осовною проблемою для об'єднання квантової механіки із загальною теорією відносності.

Б) стандартна модель фізики елементарних частинок.

Починаючи з 40-х років минулого століття фізики-теоретики розробляли математичний апарат квантової механіки із врахуванням тих особливостей, про які було сказано вище (П. Дірак, В. Паулі, Ю. Швінгер, Ф. Дайсон, Р. Фейман та багато інших). У результаті цих досліджень було з'ясовано, що для коректного формулювання законів квантової механіки необхідно врахувати положення спеціальної теорії відносності. Тому було здійснено спробу об'єднати спеціальну теорію відносності з принципами квантової механіки для опису електромагнітного поля та його взаємодії з речовиною. У результаті була створена квантова електродинаміка (релятивістська квантова теорія поля). Квантова електродинаміка отримала експериментальні підтвердження особливо в розрахунках властивостей і руху елементарних частинок (наприклад, у працях Т. Кіношіти). Починаючи з 60-х років аналогічний підхід було здійснено для квантово-механічного опису слабкої, сильної та гравітаційної взаємодій. До середини 70-х років цю роботу було успішно завершено. Її результатами стали квантово-польові теорії сильної і слабкої взаємодій, які назвали *квантовою хромодинамікою*. Цікаво, що у працях Ш. Глешоу, А. Салама, С. Вайнберга було показано, що слабка і електромагнітна взаємодії об'єднуються за умов квантово-механічного опису, тобто мають єдине походження (за умови високої викривленості простору-часу).

Таким чином, три з чотирьох взаємодій (слабка, сильна і гравітаційна) були об'єднані в єдину квантово-механічну теорію, яка отримала настільки точні експериментальні підтвердження, що отримала назву *стандартної моделі*.

Підсумовуючи, можна відзначити, що у перші секунди Великого Вибуху електромагнітна і слабка взаємодії були єдиною, взаємодією. З плином часу температура знижувалась, Всесвіт розширювався і з електрослабкої виокремлювались дві — електромагнітна і слабка, які у холодному Всесвіті мають різні прояви. Цей процес виокремлення взаємодій в теоретичній фізиці отримав назву порушення симетрії. Історія створення стандартної моделі, давала вченим підстави сподіватись на успішне об'єднання загальної теорії відносності та квантової механіки саме в аспекті створення квантово-польової теорії гравітаційної взаємодії. Однак

виникли труднощі такого об'єднання, пов'язані з тим, що за відсутності будь-яких тіл гравітаційне поле у вакуумі дорівнюватиме нулю (енергія, імпульс). Із законів квантової механіки випливає, що гравітаційне поле буде нульовим лише в середньому, а миттєве значення енергії та імпульсу буде змінюватись за рахунок квантових флуктуацій. Причому співвідношення невизначеностей вказує на зростання флуктуацій гравітаційного поля при зменшенні розглядуваної області простору. Оскільки у відповідності до загальної теорії відносності, основний прояв гравітаційного поля — кривизна простору, то разом із квантовими флуктуаціями дана кривизна зросте неймовірно. У зв'язку з цим Дж.Уілер запропонував термін "квантова піна". Саме на таких малих, мікроскопічних відстанях поняття пласкої (або плавно викривленої) геометрії поверхні згідно із загальною теорією відносності стає несумісним із квантовими флуктуаціями. В умовах мікросвіту діє співвідношення невизначеностей, яке входить у протиріччя з основним принципом загальної теорії відносності — геометричною моделлю простору-часу. Спираючись лише на рівняння загальної теорії відносності не можливо передбачити наслідки квантової флуктуації - "квантової піни".

Отже несумісність квантової механіки та загальної теорії відносності проявляється лише за таких умов, які не зустрічаються у переважній більшості задач, а тому, чи варто турбуватись стосовно цієї несумісності? Можливо обмежитись лише застосуванням кожної із вказаних теорій для розв'язання таких задач, де відстані набагато більші планківського масштабу? З іншого боку, чи не є несумісність двох найбільш претензійних теорій сучасної фізики, тривожним сигналом, який попереджує про грубі помилки допущені науковцями у створенні наукової картини світу? Думки вчених з цього приводу розділились. Більшість занепокоєні існуючими протиріччями вказаних теорій і вказують на необхідність більш детального перегляду квантової механіки на концептуальному рівні. Ця думка обґрунтована тим, що розуміння структурної організації матерії на самому елементарному (фундаментальному) рівні, дозволить пояснити і розкрити у логічній послідовності все розмаїття явищ, процесів і законів Природи та Всесвіту в цілому.

У 1970 р. групою фізиків-теоретиків (Й.Намбу, Х.Нільсен, Л.Сасскінд) було запропоновано цікаву і оригінальну ідею: представити фундаментальні частинки маленькими одновірними

струнами, що коливаються. Виявилось, що подібні струни добре описують сильну взаємодію за допомогою функції Ейлера (використати функцію Ейлера для опису сильної взаємодії вперше запропонував Г. Венеціано у 1968 р., який працював в Європейській лабораторії прискорювачів в ЦЕРНі (Швейцарія)). У 1974 р. Шварц і Джоель Шерк вивчивши моди коливань струн, які нагадували властивості частинок-носіїв фундаментальних взаємодій, зробили сміливе припущення про те, що ці властивості співпадають із властивостями гіпотетичної частинки — гравітоном. Таким чином, теорія струн пояснює не лише механізм сильної взаємодії, а є квантовою теорією, яка включає гравітацію. У середині 80-х років теорія струн набула найбільшої популярності серед вчених. Однак отримані рівняння були наближеними і відповідно отримати точні розв'язки, а відтак перевірити новоутворену теорію експериментально було неможливо.

Ситуація кардинально змінилась, коли у 1995 р. Едвард Віттен на конференції з теорії струн, яка проходила в університеті Північної Каліфорнії, виклав план нового етапу досліджень властивостей струн, над якими науковці працюють й до сьогодні. Теорія струн стверджує, що фундаментальні частинки, які є об'єктом вивчення стандартної моделі, являють насправді струну у вигляді петлі. Довжина петлі, утворена струною, близька до планківської довжини (це у 10^{20} разів менше розміру атомного ядра). Які переваги має теорія струн перед стандартною моделлю?

Відповідно до стандартної моделі існує три сімейства фундаментальних частинок (лептонів), в кожне з яких входить заряджена частинка і нейтрино: електронний дублет, мюонний дублет і таонний дублет. Крім цього, відомо, що всі адрони (наприклад, протон, нейтрон) складаються з кварків — фундаментальних частинок, що мають дробові заряди. Так, наприклад, протон складається з двох *u*-кварків і одного *d*-кварка, протон — з двох *d*-кварків і одного *u*-кварка. Причому кварки так само як і лептони утворюють три сімейства. Таким чином існує кварклептонна симетрія. Цікаво, що все що нас оточує складається з комбінацій електронів, *u*-кварків і *d*-кварків.

Стандартна модель не відповідає на ряд важливих питань: чому існує велика кількість фундаментальних частинок, тоді як структурно матерія складається з електронів і двох видів кварків? Чому існує лише три сімейства? З чим пов'язана кварклептонна симетрія? Чому

маси фундаментальних частинок мають значення, які видаються випадковим набором чисел? На всі ці та подібні питання стандарт на модель не дає відповідей.

Стандартна модель, крім цього, має ряд недоліків: 1) відсутність гравітаційної взаємодії (про це мова велась вище); 2) відсутність опису об'єктів вивчення — фундаментальних частинок (електрони, кварки тощо). Стандартна модель неспроможна дати відповідь на поставлені питання, оскільки всі відомості, якими вона оперує (перелік частинок, сімейств, властивостей, симетрій тощо), отримані як емпіричний матеріал, який не піддається теоретичному обґрунтуванню хоча й дозволяє робити передбачення щодо виходу ядерної реакції в прискорювачі елементарних частинок. Якщо буде виявлено нові класи частинок, у стандартній моделі порівняно легко зробити зміни, оскільки її структура досить гнучка. Однак пояснити фундаментальні властивості частинок, спираючись лише на стандартну модель, неможливо.

Прихильники теорії суперструн стверджують, що вона здатна пояснити всі властивості мікросвіту. Якщо провести аналогію із струнами музикальних інструментів (наприклад, скрипки), то можна стверджувати, що так само, як моди резонансних коливань струн скрипки утворюють різні музикальні ноти, так і моди коливань фундаментальних струн утворюють різні маси, квантові числа і константи взаємодій. Однак це лише сподівання. Насправді, теорія суперструн знаходиться на стадії розробки і поки що немає експериментальних підтверджень [2]. Хоча струна залишається математичною ідеалізацією та попри всі її недоліки, вона має дві важливі характеристики: 1) струна може бути однозначно описана в рамках квантової механіки; 2) серед резонансних мод коливань є мода, властивості якої співпадають із властивостями гравітона. Отже, гравітаційна взаємодія і квантова механіка будуть об'єднані теорією струн, як єдиною квантово-механічною концепцією будови Всесвіту. В межах цієї роботи складно описати всі найбільш помітні досягнення вчених у розробці теорії суперструн та наслідки цих досягнень. Однак, викладений матеріал свідчить про його досить високий потенціал із формування наукового світогляду у старшокласників, який за правильно організованої методики вивчення дозволить значною мірою підвищити науковий рівень вивчення відомостей про структурну організацію матерії у класах із поглибленим вивченням фізики в профільній школі. Тому

дослідження в такому напрямку є актуальними і потребують подальшого належного розв'язання.

Висновки до розділу IV

1. Реалізація гіпотетико-дедуктивної моделі в межах пропонованої методичної системи вивчення квантової фізики відбувалась у наступній послідовності:

- Постановка навчальної проблеми.
- Висунення гіпотези, що має на меті розв'язати поставлену проблему.
- Раціональна оцінка і критичний аналіз гіпотези та її вибір з поміж інших.
- Формулювання положень (постулатів) нової теорії.
- Раціональна критика нової теорії.
- З'ясування наукових проблем нової теорії, можливі варіанти їх усунення.

2. Презентована методична система навчання квантової фізики на концептуальному рівні представлена двома підходами (концептами). Перший підхід відповідає індуктивно-емпіричній схемі навчального процесу, що передбачає наступну технологію навчання квантової фізики:

- накопичення емпіричних фактів, що входять у протиріччя із положеннями традиційної (класичної) теорії;
- формування гіпотези, яка дозволить пояснити нові факти;
- розробка на основі підтвердженої гіпотези математичної моделі та її експериментальна перевірка;
- формулювання положень теорії та її наслідків;
- експериментальна перевірка цих наслідків (верифікація теорії).

Описана послідовність сповна відповідає гносеологічному циклу суспільно-історичного процесу наукового пізнання: *наукові факти — проблеми — гіпотези — теоретичні висновки, верифікація положень теорії*.

Другий підхід узгоджений із *дедуктивно-гіпотетичною* схемою та визначає наступну послідовність вивчення відповідного навчального матеріалу:

- постановка проблеми;
- висунення гіпотези, за допомогою якої можна розв'язати навчальну проблему;
- критичний аналіз гіпотези;
- формулювання положень теорії;

- критичний аналіз та постановка нової проблеми, що впливає із положень теорії.

3. Формування предметної компетентності з фізики елементарних частинок у рамках пропонованої методичної системи здійснювалося на основі критичного мислення із залученням технологій інтерактивного та мобільного навчання.

Загальні висновки

Результати проведеного теоретичного й експериментального дослідження методологічних і психолого-педагогічних засад методики навчання квантової фізики у курсі старшої школи підтвердили гіпотезу дослідження і дають підстави для таких висновків:

1. Аналіз філософсько-методологічних аспектів проблем навчання фізики в старшій школі показав, що традиційно логіка вивчення відомостей з квантової теорії у старшій школі відповідала філософській концепції емпіризму. Виклад навчального матеріалу розпочинався і завершувався експериментом: *вихідні експериментальні факти — теоретична модель — наслідки — експериментальна перевірка наслідків*.

Ця концептуальна циклічна схема докладно досліджена і втілена в шкільну практику, добре себе зарекомендувала в основній школі, наприклад, при вивченні положень атомно-молекулярного вчення, а також в окремих випадках у старшій школі, наприклад, при викладі основ молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.

Проте, в процесі вивчення квантової фізики, з'являються методичні та методологічні труднощі, які вирішити в межах емпірично-індуктивного підходу практично неможливо.

Відмова від емпірично-індуктивної схеми викладу відомостей про будову речовини призвели до пошуку інших підходів до навчання фізики в старшій школі, зокрема впровадження технології формування критичного мислення в учнів старшої школи при вивченні квантової теорії. Вибір квантової теорії обумовлений тим, що методологія сучасної фізики більшою мірою сформована квантовою фізикою та фізикою високих енергій. Віддзеркалення в адекватній формі основних методологічних ідей сучасної фізичної науки, дозволило вирішити проблему недосконалості (з точки зору методики) емпірично-індуктивного підходу.

2. Вперше визначено основні концептуальні засади навчання квантової фізики, що відповідають сучасним тенденціям розвитку фізичної освіти в загальноосвітній школі: переорієнтація освітніх систем із формування фізичних знань, умінь і навичок на формування компетентностей; превалювання у вивченні квантової фізики інтеграції наук, що є наслідком посилення ідеї еволюціонізму, яка останнім часом набула помітного впливу на наукову картину світу;

посилення системного підходу у вивченні квантової фізики; у вивченні квантової фізики починають переважати відомості про сучасні технології (інформаційні технології, нанотехнології, технології передачі інформації тощо).

3. Вперше обґрунтовано технологію змішаного навчання, що реалізована через інтеграцію двох моделей: «електронне навчання доповнює аудиторне» (face-to-face driver) та «чергування електронного і традиційного» (rotation). У якості LMS (Learning Management System) обрано платформу засновану на хмарній технології Google Classroom в рамках сервісу G Suite for Education. Classroom дозволяє застосовувати мобільне навчання на більш високому рівні з точки зору технологічності та застосування сучасних засобів навчання на кшталт хмарних технологій. За допомогою Classroom мобільне навчання стає не лише методичним підходом із застосування мобільних пристроїв та відповідних доданків, а технологією, що має усі ознаки технологічності навчального процесу: цілі, які відбивають знаннявий компонент, практичні уміння і навички, досвід застосування набутих знань і вмінь у життєвих ситуаціях, ціннісні ставлення, сформовані в освітньому процесі та наперед запланований результат навчання.

4. Досліджено методичні аспекти організації навчальної діяльності учнів у контексті компетентнісного підходу. В рамках представленої методичної системи запропоновано наступну структурно-логічну схему поняття «освітня компетентність»: 1) наукове поняття (або система понять); 2) предметні навички і вміння, пов'язані з відповідним фізичним поняттям (чи системою понять) у вирішенні практичних завдань; 3) досвід учня з оперування даним поняттям або системою понять у вирішенні практичних завдань; 4) ціннісне ставлення учня до системи набутих понять. На основі наведеної структури було розроблено методичну систему навчання елементів квантової фізики для різних профілів не лише через різне змістове навантаження, зокрема підвищення рівня математичного апарату, вищий рівень наукових понять, що вивчаються, а через особистісно орієнтоване знання та ціннісне ставлення і готовність старшокласників використовувати отримані знання.

Деякі українські та зарубіжні дослідники розмежовують поняття «компетенція» та «компетентність», розглядаючи їх як окремі категорії (І.В. Бургун, О.М. Ніколаєв, А.В. Хуторський та ін.). «Компетенція» включає певну кількість якостей особистості, що

задаються як критерії у відношенні до певного кола предметів та процесів у відповідних нормативних документах. Натомість поняття «компетентність» має відношення до реального володіння на практиці вказаними у компетенціях знаннями, уміннями й навичками, включаючи особистісне ставлення індивідууму до предмету його діяльності. Отже, навчальна компетентність може відрізнятись від компетенції залежно від успішності впровадження методичних шляхів її формування в учнів і, в цьому сенсі не є інваріантною відносно методичної системи навчання фізики. Тому поділ на «компетенцію» і «компетентність» є недоречним у рамках методичної системи навчання квантової фізики, оскільки питання компетентнісного підходу ми розглядали суто на рівні відповідних технологій та методів навчання.

5. Вперше доведено, що для успішного формування знань із квантової фізики слід використовувати гіпотетико-дедуктивний підхід, який у філософському контексті спирається на критичний раціоналізм. За цієї умови більш доцільною є наступна гіпотетико-дедуктивна схема: *Проблема — Гіпотеза — Раціональна критика — Вибір гіпотези — Раціональна критика нової теорії — Нова проблема*. Доведено, що нова логіко-структурна схема технології навчання квантової фізики орієнтує на методику викладання квантової фізики, за якої демонстраційний експеримент та використання наочностей покликане не для накопичення чуттєвого досвіду як при емпірично-індуктивному навчанні, а для збагачення процесу раціональної критики з метою перевірки гіпотез.

6. Вперше запропоновано методичну систему навчання квантової фізики у старшій школі, що ґрунтується на теоретичній моделі та дидактичному проекті, що реалізує модель на практиці. Теоретична модель відповідає наступним критеріям: цілепокладання; напрямленість; технологічність; методологічність. Цілепокладання передбачає кілька етапів: визначення декларативної мети — формування компетентностей на основі технології розвитку критичного мислення; формулювання конкретної мети — формування предметної компетентності з квантової фізики, ключової компетентності уміння навчатись упродовж життя та наскрізного уміння критично мислити; відбір технологій навчання відповідно до обраних цілей (декларативної та конкретної): інтерактивні технології кооперативного навчання; технологія розвитку критичного мислення; технологія мобільного навчання; технологія змішаного навчання. Направленість методичної системи визначає вибір відповідної

стратегії навчання: заміна знаннєвої парадигми орієнтацією на компетентнісний підхід, що реалізується через застосування відповідних технологій навчання та врахування парадигми критичного раціоналізму. Технологічність методичної системи забезпечується по-перше, застосуванням вище згаданих компетентнісно орієнтованих технологій навчання; по-друге, через розроблену *технологію проектування* підсистеми з формування предметної компетентності з квантової фізики. З цією метою визначено змістову компоненту предметної компетентності в частині квантової фізики; визначено функції компетентностей у навчанні квантової фізики; визначено структуру навчальної компетентності з квантової фізики (назва, тип, об'єкти, способи діяльності відносно обраних об'єктів); визначено дерево компетентностей. Критерій «методологічність методичної системи» означає її відповідність сучасним методам дослідження фізичної науки, які концептуально відповідають ідеям критичного раціоналізму, а в методичній площині реалізуються через гіпотетико-дедуктивну схему навчання.

7. Реалізація гіпотетико-дедуктивної схеми як дидактичного проекту методичної системи навчання квантової фізики відбувалась у наступній послідовності: постановка навчальної проблеми; висунення гіпотези відносно навчальної проблеми; раціональна оцінка і критичний аналіз гіпотези та її вибір з-поміж інших; формулювання положень нової теорії; раціональна критика нової теорії; з'ясування наукових проблем нової теорії, можливі варіанти їх усунення. Практична реалізація індуктивно-емпіричної схеми відбувалась наступним чином: накопичення емпіричних фактів, які входять у протиріччя із положеннями традиційної (класичної) теорії; формування гіпотези, яка дозволить пояснити нові факти; розробка на основі підтвердженої гіпотези математичної моделі та її експериментальна перевірка; формулювання положень теорії та її наслідків; експериментальна перевірка цих наслідків.

Список використаних джерел

- 1.Атаманчук П.С. Теорія і методика управління пізнавальною діяльністю старшокласників у навчанні фізики: Автореф. дис... докт.пед.наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2000.
- 2.Атаманчук П.С., Панчук О.П. Дидактичні основи формування фізико-технологічних компетентностей учнів: монографія / П.С.Атаманчук, О.П.Панчук. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2011. - 252 с.
- 3.Атаманчук П.С., Сосницька Н.Л. Основи впровадження інноваційних технологій навчання фізиці / П.С. Атаманчук, Н.П. Сосницька // Навчальний посібник — Кам'янець-Подільський: Абетка-НОВА, 2007.
- 4.Ацюковский В.А., Логические и экспериментальные основы теории относительности: Аналитический обзор. М.: Изд-во МПИ, 1990. - 56, [2] с.
- 5.Ацюковский В.А., Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. - М.: Энергоатомиздат, 1990 г. - 280 с.
- 6.Бабанский Ю.К. Оптимизация процесса обучения: общедидактические аспекты / Ю.К.Бабанский. - М.: Педагогика, 1977. - 254 с.
- 7.Бабенко А.К., О курсе физике в средней школе // Физика в школе. - 1957. - №4. - С.58-62.
- 8.Бабенко О.І., Розенберг М.Й. Нариси з методики викладання фізики. Частина 4. Оптика і будова атома. - К.: Радянська школа, 1959. - 195 с.
- 9.Бар'яхтар В.Г. Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: Підручник для загальноосвіт. навч. закл. /В.Г. Бар'яхтар, Ф.Я.Божинова, М.М.Кірюхін, О.О. Кірюхіна. - Х.: Видавництво «Ранок», 2011. - 320 с.
- 10.Батыгин В.В., Топтыгин И.Н., Современная электродинамика. Часть1 : Микроскопическая теория., Москва - 2005.
- 11.Бех І.Д. Компетентнісний підхід у сучасній освіті / Іван Дмитрович Бех. Інститут проблем виховання НАПН України. Електронний ресурс. Режим доступу:[www.http://lib.iitta.gov.ua/8772/1/534%20%D0%91%D0%B5%D1%85.pdf](http://lib.iitta.gov.ua/8772/1/534%20%D0%91%D0%B5%D1%85.pdf)
- 12.Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. - М.:

- Педагогіка, 1989. - 192 с.
13. Биков В.Ю. Теоретико-методологічні засади створення і розвитку сучасних засобів та е-технологій навчання // Розвиток педагогічної і психологічної наук в Україні 1992 - 2002. Збірник наукових праць до 10-річчя АПН України, академія педагогічних наук України. - Частина - 2. - Харків: «ОВС», 2002. - С. 93-99 с.
 14. Благодаренко Л.Ю. Узгодженість у конструюванні змісту навчальних предметів як визначальний чинник забезпечення якості базової фізичної освіти /Л.Ю. Благодаренко, Л.В. Мініч // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Сер.: Педагогічна. - 2013. - Вип. 19. С. 76-78.
 15. Богорев В.В. Психолого-педагогические основы системы адаптивного обучения // 2001. №2. С. 12-15.
 16. Борн М., Эйнштейновская теория относительности // Пер. с англ. Н.В. Мицкевича. - М.: Мир, 1964, 2-е изд., 1972.
 17. Брайан Грин. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории: Пер. с англ. / Общ. ред. В.О. Малышенко. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 288 с.
 18. Бранский В.П. Философское значение «проблемы наглядности» в современной физике. Изд. 2-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — 192 с.
 19. Бугаев А.И. Тенденции развития обучения физике в современной общеобразовательной школе: Дисс... д-ра пед наук: 13.00.02. - М., 1983.
 20. Бугаев А.И., Методика преподавания физики в средней школе: теоретические основы. М.: Просвещение, 1981. - 288 с.
 21. Бугайов О.І. Вважаю, потрібно чинити так ... (Концепція фізичної освіти у середній загальноосвітній школі України) // Рідна школа. - 1993. - №1. - С.34-37.
 22. Бугайов О.І. Вивчення атомної та ядерної фізики в школі. Посібник для вчителів. - К.: Рад.школа. 1982. - 158 с.
 23. Будний Б.Є. Вивчення квантової фізики в школі: Посібник для вчителя і учнів /АПН України. Ін-т педагогіки. - К., 1994. - 160 с.
 24. Будний Б.Є. Теоретичні основи формування в учнів системи фундаментальних фізичних понять: Автореф дис... д-ра пед наук: 13.00.02 /Український держ педагогічний ун-т ім. М.П.Драгоманова. - К., 1997. - 51 с.
 25. Будний Б.Є. Формування фундаментальних фізичних понять

- (теоретичні основи). - К.: А.С.К., 1996. - 128 с.
- 26.Будний Б.Є. Теоретичні основи формування в учнів системи фундаментальних фізичних понять: Дис... д-ра пед. наук: 13.00.02 /Інститут педагогіки АПН України. - К., 1997. - 431 с.
- 27.Бургун І.В. Теоретико-методичні засади розвитку навчально-пізнавальних компетенцій учнів основної школи в навчанні фізики: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2015. - 44 с.
- 28.Бургун І.В. Розвиток навчально-пізнавальних компетенцій учнів основної школи в навчанні фізики : монографія [Текст] / І.В. Бургун. – Херсон: Грінь Д.С., 2014. – 528 с.
- 29.Буров В.А. Об изложении люминесценции в X классе // Физика в школе. - 1955. -№2. - С.47-52.
- 30.Буров В.А., Покровский А.А. Демонстрационные опыты по фотоэффекту // Физика в школе. - 1959. -№2. -С.64-67.
- 31.Бутенко А. В., Ходос Е. А. Критическое мышление: метод, теория, практика. Учеб.-метод. пособие. М.: Мирос, 2002. — 176 с.
- 32.Буховцев Б.Б., Климонтович Ю.Л., Мякишев Г.Я. Фізика. Навчальний посібник для 9 класу середньої школи. К., Радянська школа, 1979.
- 33.В.В.Стручков, Вопросы современной физики. Пособие для учителей / В.В.Стручков, Б.М.Яворский. - М., "Просвещение", 1973. - 494, [2] с.
- 34.Вавилов С.И. Собр. соч. Т.3. / Работы по философии и истории естествознания. - М.: Изд-во АН СССР, 1956. - 871 с.
- 35.Вахштайн В.С. На краю привычного мира: события и их фреймы // Социологическое обозрение, 2011, 10(3), с. 79–94.
- 36.Великанова А.В. и др. Технология развития критического мышления через чтение и письмо. Дебаты. Портфолио. \Серия “Компетентносно-ориентированный подход к образованию: образовательные технологии”. Вып.2. - Самара, изд-во Профи, 2002. - 92 с.
- 37.Величко С.П., Костенко Л.Д. Вивчення основ квантової фізики: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. - Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка, 2002. - 274 с.
- 38.Величко С.П. Розвиток системи навчального експерименту та обладнання з фізики у середній школі. - Кіровоград, 1998. - 302 с.

- 39.Викторова Л.Г. О педагогических системах / Л.Г. Викторова. - Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1989. - 102 с.
- 40.Винограй Э.Г. Методы системного анализа деятельности вуза по подготовке специалистов с высшим образованием // Социальные и гносеологические проблемы познания общественных явлений. - Томск: Изд-во Томского университета, 1980. - 199 с.
- 41.Волков Е.Н. Тесты критического мышления: вводный обзор // Психологическая диагностика. 2015, № 3. - С. 5-23.
- 42.Воловик П. М. Теорія ймовірностей і математична статистика в педагогіці / П. М. Воловик. – К. : Рад. школа, 1969. – 223 с.
- 43.Воловик П.М., Фізика: Для ун-тів. - К.; Ірпінь: Перун, 2005. - 864 с.
- 44.Вукіна Н.В., Дементієвська Н.П. Критичне мислення: як цього навчати. Науково-методичний посібник. - Х.: Видавнича група «Основа»: «Тріада+», 2007. - 112 с.
- 45.Выгановский Н.И. Несколько демонстраций фотоэлектрических явлений // Физика в школе. - 1952. - №1. - С.45.
- 46.Выготский Л.С. Умственное развитие детей в процессе обучения (сборник статей) / Л.С. Выготский. - М., Л.: Государственное учебно-педагогическое издательство, 1935. - 135 с.
- 47.Габович О.М., Як у загальноосвітній школі викладати сучасну фізику / Габович О.М., Габович Н.О. - Х.: Вид. група "Освіта": "Тріада+", 2008. - 112, [2] с.
- 48.Гайденок П.П. Эволюция понятия науки: формирование научных программ нового времени. - М.: Наука, 1987. - 245 с.
- 49.Гальперин П.Я. Психология мышления и учения о поэтапном формировании умственных действий /Хрестоматия по психологии. - М., 1977. - С. 417-425.
- 50.Гальперин П.Я. Развитие исследований по формированию умственных действий / П.Я. Гальперин // Психологическая наука в СССР: в 2-х т. - М., 1959. - Т.1. - С. 441-469.
- 51.Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории /В.Гейзенберг; Пер. с нем. А.Н. Арсеньевой. - [Репр. изд.]. - М.: Б.и.; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2002. - 146 с.
- 52.Глазунов А.Т., Фабрикант В.А. Оптические квантовые генераторы // Физика в школе. - 1970. -№1.
- 53.Глэшоу Ш.Л. Очарование физики. - Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2002, 336 с.

- 54.Голдстейн Г., Классическая механика — М.: Наука,, 1975.
- 55.Голин Г.М. Вопросы методологии физики в курсе средней школы: Кн. для учителя. - М.: Просвещение, 1987. - 127 с.
- 56.Головко М.В. Історія вітчизняної фізики та астрономії в курсі фізики середньої загальноосвітньої школи : автореф. дис. . канд. пед. наук : 13.00.02 / М. В. Головко ; Нац пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. - Київ, 2000. - 20 с.
- 57.Гольдштейн Е.Н. К оценке школьной реформы 1958 г. (Историко-социологический аспект) // Гуманистические идеи, социально-педагогические эксперименты, бюрократические извращения в развитии отечественной школы. СПб., 1993. С.123-140 (132).
- 58.Гончаренко С. Український педагогічний словник / С.У.Гончаренко. - К.: Либідь, 1997 - 374 с.
- 59.Гончаренко С., Волков В., Коршак Є., Бугайов О., І.Юрчук. Стандарт шкільної фізичної освіти // Фізика та астрономія в школі. - 1997. - №2. - С.2-8.
- 60.Гончаренко С., Ляшенко О., Мальований Ю., Савченко О. Концептуальні основи державного стандарту загальної середньої освіти // Фізика та астрономія в школі. - 1996. - №1. - С. 6-10.
- 61.Гончаренко С.У. Педагогічні закони, закономірності, принципи. Сучасне тлумачення / С.У. Гончаренко. - Рівне: Волинські обереги, 2012. - 192 с.
- 62.Гончаренко С.У. Фізика: проб навч пос для 11 кл шк III ступ., гімназій і ліцеїв гуманіт проф. - 2-ге видання — К.: Освіта, 1998. - 287 с.
- 63.Гончаренко С.У. Фізика: проб навч пос для 11 кл шк. III ступ., гімназій і ліцеїв гуманіт проф. - К.: Освіта, 1995. - 287 с.
- 64.Гончаренко С.У. Фізика: Пробн навч посібник для 11-х кл ліцеїв і гімназій природничо-наукового профілю: Рекомендовано Міністерством освіти України. - К.: Освіта, 1995. - 448 с.
- 65.Гончаренко С.У., Розенберг М.Й. Методика навчання фізики в середній школі (Коливання і хвилі. Оптика. Теорія відносності. Фізика атомного ядра.)/Посібник для вчителів. - К.: Радянська школа, 1974. - 232 с.
- 66.Гончаренко С.У., Розенберг М.Й. Методика навчання фізики в середній школі. - К.: Рад. школа, 1970. - 263 с.
- 67.Гончаренко С.У., Фізика: проб. навч. пос. для 11 кл. шк. III ступ., гімназій і ліцеїв гуманіт. проф. - 2-ге видання , - К.: Освіта,

1998. - 287 с.

- 68.Гордієнко Т.П. Теоретико-методичні основи самостійної навчальної діяльності студентів у процесі вивчення загальної фізики в університетах: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2010. - 40с.
- 69.Гук Р., Общая схема или идея настоящего состояния естественной философии // Научное наследство. Ест. -науч. серия. М. - Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т.1.
- 70.Гут А.Г., Стейнхардт П. Дж. Раздувающаяся Вселенная // В мире науки. 1984. №7. - С. 59-62.
- 71.Гюйгенс Х., Трактат о свете: Пер. с франц. / Под ред. В.Фредерикаса. М. - Л.: ОНТМ, 1935
- 72.Давыдов В.В. Проблемы развивающего обучения: Опыт теоретического и эмпирического психологического исследования. - М.: Педагогика, 1986. - 240 с.
- 73.Давыдов В.В. Теория развивающего обучения. - М.: ИНТОР. 1996. - 544 с.
- 74.Данилюк І.Г. Сучасний словник іншомовних слів для середньої і вищої школи. - Донецьк: ТОВ ВКФ "БАО", 2008. - 576 с.
- 75.Державна національна програма: Освіта. Україна ХХІ століття. - К.: Райдуга, 1994. - 49 с.
- 76.Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти [Електронний ресурс] -Режим доступу: http://www.mon.gov.ua/images/files/doshkilna-cerednya/serednya/derzh-standart/post_derzh_stan.doc
- 77.Дидактика средней школы: Некоторые проблемы соврем. дидактики / Под ред. М.Н. Скаткина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Просвещение, 1982. - 319 с.
- 78.Дольников А.Э., Резник М.В. Простые опыты по люминесценции // Физика в школе. - 1952. -№1. -С.50-51.
- 79.Дурасевич Ю.Е. Изучение природы света в курсе физики средней школы. М., Учпедгиз, 1960.
- 80.Дьюи Дж. Психология и педагогика мышления. (Как мы мыслим). М.: Лабиринт, 1999. 192 с.
- 81.Дьюї Джон. Моральні принципи в освіті. - Львів: Літопис, 2001. - 30 с.
- 82.Евдокимов В.И., Олейник Т.А., Горькова С.А., Микитюк М.В. Практикум по развитию критического мышления. - Харьков: Торнадо, 2002. - 143 с.

- 83.Егоров В.В., Скибицкий Э.Г., Храпченков В.Г. Педагогика высшей школы: Учебное пособие. - Новосибирск: САФБД, 2008. - 260 с.
- 84.Енциклопедія освіти / Акад.пед.наук України; головний ред. В.Г.Кремень. - К.: Юрінком Інтер, 2008. - 1040 с.
- 85.Євдокимов О.В. Нові педагогічні технології організації навчання учнів: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / Євдокимов О.В. – Х., 1997. – 181с.
- 86.Жук Ю.О. Оцінювання рівня сформованості предметних компетентностей учнів основної школи методом семантичного диференціала в процесі навчання фізики / Ю.О. Жук, О.П. Пінчук // Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія. Педагогічні науки: реалії та перспективи. - Випуск 12: 3б. наук. пр. - К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2008. -С. 120-127.
- 87.Заболотний В.Ф. Дидактичні засади застосування мультимедіа у формуванні методичної компетентності майбутніх учителів фізики: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2010. - 39 с.
- 88.Заболотний В.Ф. Дидактичні засади застосування мультимедіа у формуванні методичної компетентності майбутніх учителів фізики: дис. ... доктора педагогічних наук: 13.00.02 / Заболотний Володимир Федорович; Національний педагогічний університет ім. М.П. Драгоманова. - К., 2010. -542 с.
- 89.Загашев И. Как решить любую проблему. - Спб.: прайм-ЕВРОЗНАК, 2002. - 128 с.
- 90.Загашев И.О., Заир-Бек С.И. Критическое мышление: технология развития. - СПб: Альянс-Дельта, 2003.
- 91.Загашев И.О., Заир-Бек С.И., Муштавинская И.В. Учим детей мыслить критически. - 2-е изд. - Спб.: Альянс “Дельта” совм. с изд-вом “Речь”, 2003. - 192 с.
- 92.Загвязинский В.И. Теория обучения. Современна интерпретация: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. - М.: Издательский центр «Академия», 2001. - 192 с.
- 93.Зайченко І.В. Педагогіка. Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів, 2-е вид. - К., “Освіта України”, “КНТ”, 2008. - 528 с.
- 94.Закон України “Про освіту” [Електронний ресурс]: поточна редакція — Редакція від 08.07.2017, підстава 2053-19. - Режим

- доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1060-12>
- 95.Засєкіна, Т.М. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (академічний рівень, профільний рівень) /Т.М. Засєкіна, Д.О. Засєкін. - Харків: Сиція, 2011. - 336 с.
 - 96.Зинченко В.П. Психологическая педагогика. Материалы к курсу лекций. Часть I. Живое знание. - Самара: 1998. - 216 с.
 - 97.Знаменский П.А. Методика преподавания физики в средней школе. Изд. 3-е. Л., Учпедгиз., Ленингр. отд-ние, 1955. - 552 с.
 - 98.Зубов В.Г. Реализация принципа политехнизма в основных учебных предметах (Общее собрание АПН СССР) // Физика в школе. - 1972. -№5. - С.11-13.
 - 99.Ивунина Е. Е. О различных подходах к понятию «критическое мышление» // Молодой учёный. — 2009. — № 11. — С. 170—174.
 - 100.Іваницький О.І. Сучасні технології навчання фізики в середній школі: Монографія / О.І. Іваницький. - Запоріжжя: Прем'єр, 2001. - 266 с.
 - 101.Іваницький О.І. Технології навчання фізики: навчальний посібник (Рекомендовано МОН України) / О.І. Іваницький, С.П. Ткаченко. - Запоріжжя: ЗНУ. 2010. -256 с.
 - 102.Ильина Т.А. Структурно-системный подход к организации обучения / Т.А.Ильина. - М.: Знание, 1971. - Вып.1. - 72 с.; 1972. - Вып.2. - 88 с.; 1972.- Вып. 3. - 78 с.
 - 103.Ильясов И.И. Структура процесса учения / И.И. Ильясов. - М., 1986. - 198 с.
 - 104.Іван Вакарчук, Квант - геніальна здогадка чи "вимушений" крок? // Світ фізики. 2000. №4(12). С. 9-15.,
 - 105.Історія України /Кер. авт. кол. Ю. Зайцев. Вид. 2-ге, зі змінами. - Львів: Світ, 1998. - 488 с.
 - 106.Казютинский В.В. Вселенная в научной картине мира и социально-практической деятельности человечества // Философия, естествознание, социальное развитие. М., 1989. С. 199-213.
 - 107.Карташов, Б.Д. Формирование понятий физического состояния и процесса в курсе физики средней школы. Автореф дисс. на соиск. учен степени канд пед наук (13.00.02). М., 1978. -19 с.
 - 108.Кастерин Н.П., О несостоятельности принципа относительности А.Эйнштейна. - Одесса, 1919. - 11 с.
 - 109.Кикоин И., Резников Л. Современной школе — современную

- фізику // “Учительская газета” от 10 января 1967 г.
- 110.Кирик Л.А., Фізика. 11 клас: Розробки уроків / Л.А.Кирик. - 2-ге вид. - Х.: Веста: Видваництво "Ранок", 2008. - 448с. - (Майстер-клас)
- 111.Клустер Д. Что такое критическое мышление // Русский язык. 2002. № 29. С. 3.
- 112.Коляда А. М. Підготовка старшокласників шкіл сільської місцевості до фермерської діяльності в умовах профільного навчання: дис. канд. пед. наук 13.00.02 / Коляда Андрій Миколайович. – Чернігів : Чернігівський нац. пед. ун-т. імені Т. Г. Шевченка, 2011. – 250 с.
- 113.Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики / Під заг. ред. О.В.Овчарук. - К.: «К.І.С.», 2004. -112 с.
- 114.Концепція середньої загальноосвітньої школи України // Інформаційний збірник Міністерства освіти України, 1992. - №17. - С.4-12.
- 115.Коробова В.І. Формування методичної компетентності майбутніх учителів фізики на засадах індивідуального підходу: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2017. - 41 с.
- 116.Концепція профільного навчання в старшій школі: Наказ Міністерства освіти і науки 21.10.2013 № 1456 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://goo.gl/msR3Dq>
- 117.Коршак Є.В., Фізика 11 клас /Коршак Є.В., Ляшенко О.І., Савченко В.Ф., - К.: Генеза, 2011. - 256 с.
- 118.Косенко О. Фізика у вищій школі в умовах нанореволюції // Вища освіта України (теоретичний та науково-методичний часопис). - 2013. - № 4 (51). - С.59-64.
- 119.Краевский В.В. Основы обучения. Дидактика и методика: [учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений] / В. В. Краевский, А. В. Хуторской. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.
- 120.Кремінський Б.Г. Теорія і практика роботи з інтелектуально обдарованою учнівською і студентською молоддю з фізики: монографія / Б.Г. Кремінський. - К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2011. - 412 с.
- 121.Критическое мышление: отчёт об экспертном консенсусе в отношении образовательного оценивания и обучения (Дельфи-

- доклад) (Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction. Executive Summary) // Dr. Peter A. Facione (Dean of the College of Arts and Sciences, Santa Clara University), перевод Е.Н. Волкова (1990.: сайт. — URL: <http://evolkov.net/critic.think/basics/delphi.report.html>)
122. Критическое мышление: отчёт об экспертном консенсусе в отношении образовательного оценивания и обучения (Дельфи-доклад). 1990. : сайт. — URL: <http://evolkov.net/critic.think/basics/delphi.report.html>
 123. Кудрявцев П.С., История физики. Т.1. От древности до Менделеева. М., "Просвещение", 1971. - 564 с.
 124. Кузьмина (Головко-Гаршина) Н.В. Предмет акмеологии. Спб.: Политехника, 2002. - 189 с.
 125. Кузьмина Н.В. Методы исследования педагогической деятельности. Л.: ЛГУ, 1970.
 126. Кузьмина Н.В. Понятие «педагогической системы» и критерии ее оценки // Методы системного педагогического исследования / под ред. Н.В. Кузьминой. М.: Народное образование, 2002.
 127. Кумель Л. Советские физики и вопросы образования: неприятие реформы 1958 г. // ИИЕТРАН. Годичная научная конференция 2003 г. М.: Диполь-Т, 2003, С. 333-337.
 128. Кэмпбелл Д. Эволюционная эпистемология. // Эволюционная эпистемология и логика социальных наук: Карл Поппер и его критики. - М.: Эдиториал УРСС, 2000. - 464 с.
 129. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теория поля. - М.: Наука, 1988. - 512 с.
 130. Лебедев П.Н., Собр. сочинений. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
 131. Левинская, М.Г. Формирование сведений об элементарных частицах и их свойствах в курсе физики средней школы. Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. пед. наук. Киев, 1972. - 16 с.
 132. Лемов, Д. Мастерство учителя. Проверенные методики выдающихся преподавателей / Дуг Лемов; пер. сангл. О. Медведь. - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. - 404 с.
 133. Линде А.Д. Раздувающаяся Вселенная // Успехи физ. наук. 1984. Т. 144. Вып. 2. С. 177-214.
 134. Ліпман М. Критичне мислення: чим воно може бути? // Вісник програм шкільних обмінів. 2006. № 27. С. 17-23.

- 135.Лоренц Г.А., Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения: Пер. с англ. / Под ред. А.К. Тимирязева и З.А. Цейтлина. М.: ГИТТЛ, 1956.
- 136.Лоу С. Почему мы ожидаем, что Солнце завтра взойдет? // Философский тренинг. - М.: АСТ, 2007. - 352 с.
- 137.Лук'янець В.С., Кравченко О.М., Озадовська Л.В. та ін. Науковий світогляд на зламі століть: Монографія — К.: Вид. ПАРАПАН, 2006. - 288 с.
- 138.Ляшенко О.І. Освітні системи як об'єкт моніторингу якості освіти / Проблеми якості освіти: теоретичні і практичні аспекти. - Матеріали методологічного семінару АПН України. 15 листопада 2006 р. С. 29-34.
- 139.Ляшенко О.І. Тест загальної навчальної компетентності: новий погляд на стару проблему // Педагогіка і психологія. - 2015. - №4 (89). - С. 38 - 43.
- 140.Ляшенко О.І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: Логіко-дидактичні основи. - К.: Генеза, 1996. - 128 с.
- 141.Ляшенко О.І. Якість як феномен освіти //Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету. - К.-П., 2003. - В.9. - С.58-59.
- 142.Макаренко В.М., Туманцова О.О. Як опанувати технологію формування критичного мислення. - Х.: Вид. група «Основа»: «Тріада+», 2008. - 96 с. (Серія: «Педагогічні інновації. Майстерня»).
- 143.Макс Джеммер, Понятие массы в классической и современной физике. М.: Прогресс, 1967. - 255 с.
- 144.Максименко С. Д. Генезис существования личности / С. Д. Максименко.— К.: Изд-во ООО «КММ», 2006. — 240 с.
- 145.Мартинюк М.Т. Вивчення фізики і астрономії в основній школі: /Теорет і метод засади /. - К.: ТОВ “Міжнар. фін. Агенція”, 1998. - 274 с.
- 146.Мартинюк М.Т., Дудик М.В., Терещук С.І. Вивчення фундаментальних дослідів з атомної фізики засобами ІКТ / методичний посібник для студентів педвузів. К.: Науковий світ. 2005 – 129 с.
- 147.Мартинюк О.С. Теоретико-методичні засади виконання комп'ютерно-орієнтованого фізичного експерименту в процесі навчання майбутніх учителів фізики: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2015. - 40 с.

148. Матюшкин А.М. Мышление, обучение, творчество. - М.: Изд-во Моск. психол.-социал. ин-та; Воронеж: Изд-во НПО "МЛДЭК", 2003. - 720 с.
149. Матяш Н. В. Проектная деятельность будущего педагога: проблемы профессионального становления: монография / Н. В. Матяш, В. Г. Веселова. – Брянск : БГУ, 2002. – 197 с.
150. Матяш Н. В. Психология проектной деятельности школьников в условиях технологического образования: монография / Н. В. Матяш / под. ред. В.В. Рубцова. – Мозырь: РИФ «Белый ветер», 2000. – 286 с.
151. Мацюк В.М., Розвиток теорії і практики навчання фізики у середній загальноосвітній школі України (1945-1955): Автореф дис... канд пед наук: 13.00.02 (Український державний пед ун-т ім М.П. Драгоманова. - К., 1997. - 19 с.
152. Меллер К., Теория относительности, Издание второе, "Атомиздат", Москва. 1975.
153. Мессі Г. Новая эра в физике. Изд 2-е испр. Атомиздат. Москва, 1965. - 311 с.
154. Методика навчання і наукових досліджень у вищій школі: навч. посіб. для студ., аспірантів і викл. вищ. навч. закл. / С.У. Гончаренко, П.М. Олійник, В.К. Федорченко [та ін.]; за ред.: С.У. Гончаренка, П.М. Олійника. - К.: Вища шк., 2003. - 323 с.
155. Методика навчання фізики у старшій школі: навч. посіб. / [В.Ф. Савченко, М.П. Бойко, М.М. Дідович та ін.]; за ред. В.Ф. Савченка. - К.: ВЦ «Академія», 2011. - 296 с.
156. Методы системного педагогического исследования : Учеб. пособие / Н. В. Кузьмина. Е. А. Григорьева, В. А. Якунин и др. ; Под ред. Н. В. Кузьминой . – Москва : Народное образование, 2002 . – 207 с.
157. Методы системного педагогического исследования: учеб. пособие / под ред. Н.В. Кузьминой. - Л.: ЛГУ, 1980. -172 с.
158. Минковский Г., Пространство и время // Успехи физических наук., - Т. Т.69. - 1959. - № 2. - С. 303-320.
159. Моисеев Н.Н. Логика универсального эволюционизма и кооперативность // Вопросы философии. 1989. № 8. - С. 53-55.
160. Мултановский В.В. Физические взаимодействия и картина мира в школьном курсе / В.В. Мултановский. – М.: «Просвещение», 1977 С. – 168с.: т.; - (Пособие для учителей).
161. Муштавинская И.В. Технология развития критического

- мышления на уроке и в системе подготовки учителя: Учеб. метод. пособие: КАРО; Санкт-Петербург; 2009. - 150 с.
- 162.Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика-Х. Учебное пособие. М., “Просвещение”, 1974.
 - 163.Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Фізика: Підруч для 11 кл серед шк. Затв. Держ ком СРСР по нар освіті. - К.: Рад. шк. 1991. - 272 с.
 - 164.Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Фізика. Підручник для 10 класу середньої школи. К., “Радянська школа”, 1979. - с. 296.
 - 165.Мякишев Г.Я., Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики / Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков. - 2-е изд., стереотип. - М.: Дрофа, 2002. - 464, [1] с.
 - 166.Нанотехнологии — материальная база новой цивилизации (интервью Сергея Кисленко с Карлом Шварцем) // Сверхновая реальность. - 2008. - №3. - С.38-49
 - 167.Національна доктрина розвитку освіти України // Проф.-техн.освіта. - 2002. - №3. - С. 2-8.
 - 168.Нісімчук А.С., Падалка О.С., Шпак О.Т.. Сучасні педагогічні технології: Навчальний посібник. - К.: Видавничий центр “Просвіта”. Пошуково-видавниче агенство “Книги пам'яті України”. 2000. - 368 с.
 - 169.Ніколаєв О.М. Теоретико-методичні засади формування методичної компетентності майбутніх учителів фізики у процесі навчання фізики: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2017. -41 с.
 - 170.Нова українська школа: основи Стандарту освіти. - Львів, 2016. - 64 с.
 - 171.Новейший философский словарь: 3-е изд., исправл. - Мн.: Книжный Дом. 2003. - 1280 с.
 - 172.Новиков А.М. О развитии методических систем [Электронный ресурс] / А.М.Новиков. Режим доступа к статье: http://www.anovikov.ru/artikle/met_sys.htm
 - 173.Новиков А.М. Педагогика: словарь системы основных понятий. - М.: Издательский центр ИЭТ, 2013. - 268 с.
 - 174.Ньютон И., Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях, и цветах света: Пер. с англ. / Под ред. Г.С.Ландсберга. М.: Гостехиздат, 1954.
 - 175.Ньютон Исаак, Математические начала натуральной философии. - М.: Наука, 1989. - 690 с.

- 176.Околелов О.П. Управление педагогическими системами на основе целевых программ / О.П. Околелов // Сов. педагогика. - 1990. - №7. - С. 50-53.
- 177.Окунь Л.Б., Понятие массы (масса, энергия, относительность)// Успехи физических наук. - Т.158., - 1989. - №3. - С.511-529.
- 178.Окунь Л.Б., Формула Эйнштейна: $E=mc^2$. "Не смеется ли Господь Бог"? // Успехи физических наук. - Т.178. - 2008. - №5. - С. 541-555.
- 179.Ортинський В. Л. Педагогіка вищої школи: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / В. Л. Ортинський – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 472 с.
- 180.Освітні технології: Навч.-метод.посіб. / О.М.Пехота, А.З.Кіктенко, О.М.Любарська та ін.; За ред. О.М.Пехоти. - К.: Видавництво А.С.К., 2003. - 255 с.
- 181.Основы методики преподавания физики в средней школе / Под ред. А.В.Перышкина, В.Г.Разумовского, Ф.А.Фабриканта / - М.: Просвещение, 1984. - 398 с.
- 182.Основы методики преподавания физики. Общие вопросы /Под ред. Л.И.Резникова, А.В.Перышкина, П.А.Знаменского. Академия педагогических наук РСФСР, Институт общего и политехнического образования. Изд. "Просвещение", Москва 1965. - 374 с. [2]
- 183.Основы теории педагогических систем и педагогических технологий: учеб. пособие / Г.Н.Александров, А.А.Дзарасов, А.И.Науменко [и др.]; Северо-Осет. гос. ун-т им. К.Л.Хетагурова, Науч.-исслед. центр проблем общей педагогики и практ. психологии. - Владикавказ: Издательство Сев.-Осет. гос. ун-та им. К.Л.Хетагурова, 2001. - 75 с.
- 184.Паламарчук В.Ф. Першооснови педагогічної інноватики Т.1 [Текст] / Паламарчук В.Ф. – К. : Знання України, 2005. – 420 с.
- 185.Патрушев В.Н. Политехническое обучение при преподавании физики // Физика в школе. - 1957. -№5. - С.78-80.
- 186.Паули В., Теория относительности, Наука, Москва. - 1983.
- 187.Педагогические труды А.В.Цингера / К 100-летию со дня рождения // Физика в школе. - 1970. - №4. - С.17-18.
- 188.Планк М. Единство физической картины мира. М., "Наука", 1966.
- 189.Планк М. Избр. труды. - М.: Наука, 1975.

- 190.Планк М., Избранные труды. Термодинамика. Теория излучения и квантовая теория. Теория относительности. Статьи и речи. М., "Наука". 1975, 788 с.
- 191.Покровский А.А. и др. Практикум по физике в старших классах средней школы, Учпедгиз, М., 1954. - 289 с.
- 192.Пометун О.І. Енциклопедія інтерактивного навчання. - К., 2007. - 144 с.
- 193.Пометун О.І. та ін. Сучасний урок: Інтерактивні технології навчання: Наук.-метод. посібник / О.І. Пометун, Л.В. Пироженко; За ред. О.І. Пометун. - К.: А.С.К., 2004. - 192 с.
- 194.Пометун О.І., Пилипчатіна Л.М., Сущенко І.М., Баранова І.О. Основи критичного мислення: Навчальний посібник для учнів старших класів загальноосвітньої школи. - Тернопіль: Навчальна книга — Богдан, 2010. - 216 с.
- 195.Пометун Олена. Компетентнісний підхід – найважливіший орієнтир розвитку сучасної освіти /О.І.Пометун // Рідна школа. – 2005. – січень. – С. 65-69.
- 196.Поппер К. Истина, рациональность и рост научного знания // Предположения и опровержения. - М.: АСТ, Ермак, 2004. - 638 с. - С.359-419.
- 197.Поппер К. Логика научного исследования. - М.: Республика, 2004. - 447 с.
- 198.Поппер К. Назад к досократикам // Предположения и опровержения. - М.: АСТ, Ермак, 2004. - 638 с. - С. 234-261.
- 199.Поппер К. Наука: предположения и опровержения // Предположения и опровержения. - М.: АСТ, Ермак, 2004. - 638 с. - С.63-118
- 200.Поппер К. Об источниках знания и невежества // Предположения и опровержения. - М.: АСТ, Ермак, 2004. - 638 с. -С. 15-59.
- 201.Поппер К. Объективное знание. Эволюционный подход. - М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 384 с.
- 202.Програма для загальноосвітніх навчальних закладів: Фізика. 10-11 класи [Електронний ресурс] — Режим доступу http://old.mon.gov.ua/images/education/average/prog12/fiz_st.rar
- 203.Програма з фізики для старшого концентру семирічної політехнічної школи. Х., “Рад школа”, 1932. - 17 с.
- 204.Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 7-

- 11 класи (Завтверджено Міністерством освіти і науки України (Лист № 1/11-2569 від 01.06.2001р.)) // Фізика. - 2001, серпень. - №№ 22-23. - С.3-96.
- 205.Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10-11 класи. Рівень стандарту. (зі змінами, затвердженими наказом МОН України № 826 від 14.07.2016) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://goo.gl/SFYxFy>
- 206.Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10-11 класи. Профільний рівень. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://goo.gl/3Nhr9e>
- 207.Програми для середніх загальноосвітніх шкіл : Фізика. Астрономія. 7-11 класи /О.І.Бугайов, Л.А.Закота, Д.Я.Костюкевич, М.Т.Мартинюк. - К.: Перун, 1996. - 144 с.
- 208.Програми середньої загальноосвітньої школи: Фізика, астрономія. 7-11 класи / О.І.Бугайов, Л.А.Закота, В.С.Коваль, Г.В.Самсонова. К.: Освіта, 1992. - 112 с.
- 209.Програми середньої школи. Фізика. Для VI-X класів. Астрономія. Для X класів. К., «Радянська школа», 1953. 36 с.
- 210.Програми середньої школи. Фізика. VI — X класи. Наркомпрос УРСР. Державне учбово-педагогічне видавництво “Радянська школа”. Київ. Харків. 1937. - 14 [2] с.
- 211.Программы одиннадцатилетней школы // Физика в школе. - 1985. - №6. - С.21-37.
- 212.Программы по физике для средней школы на 1953-1954 уч.год. - М.: Учпедгиз, 1953. - 23 с.
- 213.Программы средней школы. Математика, физика, черчение, Учпедгиз, 1936, - 42 с.
- 214.Проект новых программ средней школы по физике и астрономии // Физика в школе. - 1967. - №1. - С.40-62.
- 215.Прозументова Г.Н. Цель в педагогике: догматическое и парадигматическое определение // Мастер-Класс. - Новосибирск. 1996. - №1(0). - С.35-38.
- 216.Прокопенко Н. Основні результати міжнародного порівняльного дослідження якості природничо-математичної освіти TIMSS 2011 [Електронний ресурс] / Прокопенко Наталія // Портал громадських експертів. - Режим доступу до статті:<http://education-ua.org/ua/analytics/68-osnovni-rezultati-mizhnarodnogo-porivnyalnogo-doslidzhennya-yakosti-prirodnicho-matematichnoji-osviti-timss-2011>

- 217.Пышкало А.М. Методическая система обучения геометрии в начальной школе: авторский доклад по монографии «Методика обучения геометрии в начальных классах», представленной на соискание ...д-ра пед. наук / Александр Михайлович Пышкало — М.: Академия пед. наук СССР, 1975. - 60 с.
- 218.Пьоришкін О.В. Курс фізики. Частина третя: електрика, оптика і будова атома. Підручник для X класу середньої школи. Державне учбово-педагогічне видавництво “Радянська школа”, Київ — 1957. - 394 с.
- 219.Разводов Б.И., Замаев Б.Н., Мельник Т.А., Из опыта политехнического обучения // Физика в школе. - 1957. -№2. - С.73-77.
- 220.Разумовский В.Г. Основные проблемы совершенствования преподавания физики в школе // Физика в школе. - 1972. -№5. - С.3-10.
- 221.Разумовский В.Г., Усанов В.В. Требования к содержанию современного урока физики // Физика в школе. - 1977. -№5. - С.13-21.
- 222.Разумовский В.Г., Усанов В.В., Хижнякова Л.С. Некоторые итоги перехода на новое содержание образования и пути дальнейшего совершенствования учебного процесса по физике //Физика в школе. - 1976. -№1.
- 223.Разумовский В.Г., Усанов В.В., Хижнякова Л.С. Пути совершенствования учебно-воспитательного процесса по физике // Народное образование. - 1976. -№8.
- 224.Резников Л.И. Квантовая оптика в средней школе // Физика в школе. - 1969. -№1.
- 225.Резников Л.И. Методика изучения квантовых свойств света // Физика в школе. - 1960. - №1. - С.47-55.
- 226.Резников Л.И. Методика преподавания физики в средней школе (Оптика. Строение атома). Том IV. Изд-во АПН РСФСР. М., 1963. - с.
- 227.Резников Л.И. Политехническая направленность факультативных занятий по физике // Физика в школе. - 1971. - №2. - С.3-6.
- 228.Резников Л.И. Развитие методической мысли по физике в СССР // Физика в школе. - 1967. - №1. - С.6-25
- 229.Резников Л.И., Юськович В.Ф. Строение атома в школьном курсе физики. Изд. 2. М., Учпедгиз, 1956.

- 230.Рекомендации по политике мобильного обучения [Электронный ресурс] //UNESCO. 2015.- Режим доступа: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/>
- 231.Ричард Фейнман. Характер физических законов: Пер. с англ. / Э.Наппельбаум, В. Голышев. - Издательства: Астрель, Neoclassic, АСТ, 2011. - 256 с.
- 232.Роджер Р. Хок. 40 исследований, которые потрясли психологию. Секреты выдающихся экспериментов. - Спб.: «прайм-ЕВРОЗНАК», 2003. - 416 с.
- 233.Родина Н.А. Теоретические основы методики преподавания физики на первой ступени ее курса в средней школе: Автореф дисс. . . д-ра пед наук: 13.00.02 / НИИ СиМО СССР. - М., 1979. - 41 с.
- 234.Розенберг М.И. О содержании курса физики в связи с вопросами политехнического обучения // Физика в школе. -1957. -№6. - С.50-52.
- 235.Савельев И.В., Основы теоретической физики: Учеб. руководство: Для вузов. В 2 т. Т.1. Механика и электродинамика. - 2-е изд., испр. - М.: Наука, 1991. - 496 с.
- 236.Савченко В.Ф. Методика навчання фізики в середній школі. (Загальні питання) / В.Ф. Савченко. - Чернігів: РВВ ЧДПУ, 2003. - 100 с.
- 237.Садовий М.І., Трифонова О.М. Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття: навчальний посібник. - Кіровоград: ПП “Центр оперативної поліграфії “Авангард”, 2013. - 436 с.
- 238.Садовий М.І. Теоретичні та методологічні основи становлення та розвитку фундаментальних ідей дискретності та неперервності в курсі фізики загальноосвітньої школи: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2001. -41 с.
- 239.Садовий М.І. Теоретичні та методологічні основи становлення та розвитку фундаментальних ідей дискретності та неперервності в курсі фізики загальноосвітньої школи: Дис... д-ра пед. наук: 13.00.02 /Інститут педагогіки АПН України. - К., 2001. - 420 с.
- 240.Садовский В.Н. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ / В.Н. Садовский. - М.: Наука, 1974. -

279 с.

- 241.Сальник І.В. Інтеграція реального та віртуального навчального фізичного експерименту в старшій школі: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2016. - 40 с.
- 242.Світлична В.В. Історія України: Навч посіб. / За ред. Ю.М.Алексєєва. 3-є вид. - К.: Каравела, 2006/ - 400 с.
- 243.Семерня О.М. Формування методичної компетентності майбутніх учителів фізики в процесі практичних занять з методики навчання фізики: Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2017. -41 с.
- 244.Селевко Г.К. Энциклопедия образовательных технологий: В 2 т. Т. 2. М.: НИИ школьных технологий, 2006. 816 с.
- 245.Селевко Г.К. Энциклопедия образовательных технологий: В 2 т. Т.1. М.: НИИ школьных технологий, 2006. 816 с.
- 246.Сергеев А.В. Становление и развитие истории методики преподавания физики в средней школе как научная дисциплина: Автореф. дисс... д-ра пед наук: 13.00.02 / Росс гос пед ун-т им. А.И.Герцена. - Л., 1991.
- 247.Сергій Терещук Становлення і розвиток механічної картини світу як передумова зародження теорії поля. Наукові записки. - Випуск 90. - Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. Винниченка, 2010. С. 282 — 286.
- 248.Сергій Терещук Становлення і розвиток механічної картини світу як передумова зародження теорії поля. Наукові записки. - Випуск 90. - Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. Винниченка, 2010. С. 282 — 286.
- 249.Сергій Терещук, Розвиток критичного мислення учнів на уроках фізики в старшій школі // Фізика та астрономія в школі - 2008.
- 250.Сергій Терещук. Вивчення поняття “енергія” за новими навчальними програмами з фізики для 12-річної школи // Фізика та астрономія в школі. №1. 2007. - С. 28-30.
- 251.Сергій Терещук. Методика вивчення відомостей про елементарні частинки у курсі фізики старшої школи. Наукові записки. - Випуск 5. - Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 1. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2014. - С. 166-169.
- 252.Сергій Терещук. Методика формування поняття швидкості

- світла у старшій школі. Наукові записки. - Випуск 108. - Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2012. - С. 132-137.
- 253.Сергій Терещук. Методичні особливості вивчення корпускулярних та хвильових властивостей речовини у класах з поглибленим вивченням фізики. Наукові записки. - Випуск 4. - Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Ч.1. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2013. - С. 240-244.
- 254.Сергій Терещук. Методичні особливості вивчення становлення квантової теорії в умовах профільної диференціації // Фізика та астрономія в сучасній школі. - № 4. 2013. - С.29-31.
- 255.Сергій Терещук. Методичні особливості вивчення фізики за підручником “Фізика”, 10 клас // Фізика та астрономія в школі. - №8. 2011. - С. 27-31
- 256.Сергій Терещук. Науково-методичний аналіз методико-методологічних особливостей вивчення квантової теорії у курсі фізики старшої школи // Збірник наукових праць УДПУ імені Павла Тичини / гол. ред.: М.Т. Мартинюк. - Умань: ПП Жовтий О.О., 2012. - Ч.4. С. 357-363.
- 257.Сергій Терещук. Поняття методичної системи навчання квантової фізики в курсі старшої школи // Фізика та астрономія в рідній школі. -№ 3. 2014. -С. 44-48.
- 258.Сергій Терещук. Профільне навчання фізики в старшій школі: досвід та перспективи розвитку // Фізика та астрономія в школі. №2 2007. - С. 24-26.
- 259.Сергій Терещук. Психолого-педагогічні умови формування фізичних понять під час вивчення квантової фізики. - Випуск 98. - Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. - С. 130-133.
- 260.Сергій Терещук. Розвиток критичного мислення учнів на уроках фізики в старшій школі // Фізика та астрономія в школі. №1. 2008. - С. 13-17.
- 261.Сергій Терещук. Становлення і розвиток механічної картини світу як передумови зародження теорії поля. Наукові записки. - Випуск 90. - Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2010. - С. 282-286.
- 262.Сиротюк, В.Д. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (рівень стандарту)/В.Д.Сиротюк, В.І.Баштовий. - Харків:

- Сиция, 2011. - 304 с.
- 263.Славгородская Т.П. Введение квантовых представлений в курс физики X класса // Физика в школе. - 1970. -№4.
 - 264.Смолин Л. Неприятности с физикой: взлет теории струн, упадок науки и что за ьтим следует / Ли Смолин. Перевод Юрий Артамонов. М., 2007. - 435 с.
 - 265.Совершенствование содержания обучения физике в средней школе / Под ред. В.Г.Зубова, В.Г. Разумовского, Л.С. Хижняковой; Науч.-исслед. ин-т содержания и методов обучения. АПН СССР. - М.: Педагогика, 1978. - 176с.
 - 266.Сокал А., Брикмон Ж. Интеллектуальные уловки. Критика современной философии постмодерна / Перев. с англ. Анны Костиковой и Дмитрия Кралечкина. Предисловие С.П. Капицы — М.: «Дом интеллектуальной книги», 2002. - 248 с.
 - 267.Соколов И.И., Развитие методики преподавания физики в СССР (окончание статьи) // Физика в школе. - 1957. -№5. - С.23-30.
 - 268.Соколов І.І. Курс фізики: Підручник для X класу середньої школи. Електрика. Оптика. Ч. 3. К.: Радянська школа. 1950. - 324 с.
 - 269.Соколов І.І. Методика викладання фізики в середній школі. Державне учбово-педагогічне видавництво “Радянська школа”, Київ — 1952. - 517 с.
 - 270.Сопряженные образовательные системы: модели, структура, возможности. Сб. науч. тр. / под ред. А.А.Остапенко. Краснодар: Просвещение-Юг, 2012. 47 с.
 - 271.Сосницька Н.Л. Фізика як навчальний предмет у середній загальноосвітній школі України: історико-методологічні і дидактичні аспекти. - К.: НПУ імені М.П.Драгоманова. 2005. - 399 с.
 - 272.Сосницька Н.Л. Формування і розвиток змісту шкільної фізичної освіти в Україні (історико-методологічний контекст): Автореф. дис... докт. пед. наук: 13.00.02 /НПУ ім. М.П.Драгоманова. - Київ, 2008. - 40 с.
 - 273.Спасский Б.И., История физики Ч. II. Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е перераб. и доп. М., "Высш. школа", 1977, 320с.
 - 274.Степанов О.М. Педагогічна психологія: навч. посіб. / О.М. Степанов. - К.: Академвидав, 2011. - 416 с.
 - 275.Степин В.С. Теоретическое знание / В.С. Степин. - Москва:

- Изд-во «Прогресс-Традиция, 1999. - 390 с.
- 276.Степин В.С. Философия науки. Общие проблемы: учебник для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук / В.С. Степин. - М.: Гардарики, 2006. - 384 с.
- 277.Столетов А.Г., Собр. сочинений. М. -Л.: Гостехиздат, 1939-1947. Т. 1-3.
- 278.Стручков В.В., Вопросы современной физики. пособие для учителей. М., "Просвещение", 1973. - 496, [2] с.
- 279.Субтельний, Орест. Україна: історія. - 2-е вид., перероб. і доп. - К.: Либідь, 1992. - 512 с.
- 280.Сущенко С.С. Вивчення квантових властивостей світла у школі / С.С. Сущенко, Л.С.Недбаєвська — Х.: “Основа”, 2007. - 144 с.
- 281.Талей Н.Н. Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости / Перевод В. Сонькина, А. Бердичевского, М. Костионовой, В. Попова, М. Тюнькиной, А. Капанадзе - «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2012. - 584 с.
- 282.Талызина Н.Ф. Педагогическая психология /Н.Ф.Талызина. - М., 1998. - 288 с.
- 283.Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний /Н.Ф. Талызина. - М., 1975. - 344 с.
- 284.Тарасов Л.В. Частицы и волны // Физика в школе. - 1970. -№1.
- 285.Тарасов Л.В. Частицы и волны // Физика в школе. - 1970. -№1.
- 286.Тарасов Л.В., Современная физика в средней школе. - М.: Просвещение, 1990 - 288 с.
- 287.Теория и методика обучения физике в школе: Частные вопросы: Учеб. пособие для студ.пед.вузов /С.Е.Каменецкий, Н.С.Пурешева, Т.И.Носова и др.; Под ред. С.Е.Каменецкого. - М.: Издательский центр “Академия”, 2000. -384 с.
- 288.Терещук С.І. Еволюція понять квантової механіки і теорії поля // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. - Випуск 89. - Серія: Педагогічні науки. - Чернігів: Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка, 2011. - С. 412-415.
- 289.Терещук С.І. Вивчення елементів квантової фізики у профільних класах з поглибленим вивченням фізики //Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна. - Коломия: ВПТ “ВІК”, 2007.
- 290.Терещук С.І. Компетентнісний підхід у вивченні квантової

- фізики в старшій школі // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. - Випуск 99. - Серія: Педагогічні науки. - Чернігів: Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка, 2012. - С. 125-128.
- 291.Терещук С.І. Короткий огляд історико-генетичного розвитку квантових уявлень в старшій школі (1947-1967 р.р.) // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. - Випуск 109. - Серія: Педагогічні науки. - Чернігів: Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка, 2013. - С. 118-121.
- 292.Терещук С.І. Логіка і структура змісту методичної системи вивчення квантової фізики у старшій школі // Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія № 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. - Випуск 33: збірник наукових праць / за ред. проф. В.Д. Сиротюка. - К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2012. - С. 170-181.
- 293.Терещук С.І. Методична система вивчення будови і властивостей речовини в курсі фізики основної школи: Автореф. дис. канд. пед. Наук: 13.00.02 / С.І.Терещук; Нац. пед. ун-т ім. М.П.Драгоманова. - К., 2003. - 20 с.
- 294.Терещук С.І. Методична система вивчення будови і властивостей речовини в курсі фізики основної школи: Автореф. дис. канд. пед. Наук: 13.00.02 / С.І.Терещук; Нац. пед. ун-т ім. М.П.Драгоманова. - К., 2003. - 20 с.
- 295.Терещук С.І. Методичні особливості вивчення досліду Боте у курсі фізики старшої школи // Збірник наукових праць. - Випуск LXII. - Серія: Педагогічні науки. - Херсон, 2012. - С. 141-147.
- 296.Терещук С.І. Методологічні та методичні аспекти формування поняття енергії під час вивчення квантової фізики у профільних класах 12-річної школи. Наукові записки. – Випуск 72. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2007. – Частина 2. С.227-231.
- 297.Терещук С.І. Періодизація розвитку методики викладання квантової фізики у старшій школі // Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія № 3. Фізика і математика у вищій і середній школі: Зб. наукових праць — К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2013. - №12. - С. 71-79.
- 298.Терещук С.І. Сучасні тенденції розвитку методичної системи навчання квантової фізики у старшій школі // Науковий часопис

- НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія № . Фізика і математика у вищій і середній школі: Зб. наукових праць — К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2014. - № . - С.
- 299.Терещук С.І. Цілепокладання як складова методичної системи формування навчально-пізнавальних компетентностей у старшокласників // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. - Випуск 116. - Серія: Педагогічні науки. - Чернігів: Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка, 2014. - С. 154-157.
- 300.Технології розвитку критичного мислення учнів / А.Кроуфорд, В.Саул, С.Метьюз, Д.Макінстер; Наук. ред., передмова О.І. Пометун. - К.: Плеяди, 2006. - 220 с.
- 301.Тоннелла М.А., Основы электромагнетизма и теории относительности / Пер. с фр. Г.А.Зайцева. - М.: Изд-во ИЛ, 1962. - 483 с.
- 302.Троицкий С.В. Нерешенные проблемы физики элементарных частиц. Успехи физических наук: Том 182, №1. Январь 2012 г. С. 77 - 103.
- 303.Турчин В.Ф. Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. Изд. 2-е – М.: ЭТС. — 2000. — 368 с.
- 304.Тэйлор Э., Уилер Дж., Физика пространства-времени, «Мир», Москва 1971.
- 305.Тягло О.В. Критичне мислення: Навчальний посібник. - Х.: Вид. група «Основа», 2008. - 189, [3] с. - (Б-ка журн. «Управління школою»; Вип 1(16)).
- 306.Уваров В.А., Специальная теория относительности. - М.: Наука, 1977. - 384 с. [1]
- 307.Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем /А.И.Уемов. - М., «Мысль», 1978. - 272 с.
308. Усова А.В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения. – М.: Педагогика, 1986. – 176 с. – (Труды д. чл. и чл.- кор. АПН СССР).
- 309.Фабрикант В.А. О классической теории излучения. - Физика в школе, 1974, № 1. - С. 18 — 24.
- 310.Фабрикант В.А. О необходимости повышения престижа прикладных наук в глазах школьников (Общее собрание АПН СССР) // Физика в школе. - 1972. -№5. - С.13-14.
- 311.Фещенко А.В. Социальные сети в образовании: анализ опыта и перспективы развития [Электронный ресурс] // Открытое и

- дистанционное образование. 2011. № 3. С. 44-50. URL: <http://huminf.tsu.ru/jurnal/files/vol7/feschenko.pdf> (дата обращения: 20.08.2015).
312. Фомина А.С. Смешанное обучение в вузе: институциональный, организационно-технологический и педагогический аспекты [Электронный ресурс] // URL: http://teoria-practica.ru/rus/files/archive_zhurnala/2014/21/pedagogics/fomina.pdf
 313. Фридман В.Г., Об учении Ньютона о массе // Успехи физических наук. - Т.61. - , 1957. - №3. - С. 451-460
 314. Халперн Д. Психология критического мышления. Спб.: 2000. 512 с.
 315. Хесле В. Философия и экология. – М., 1994. - 314 с.
 316. Храпко Р.И., Что есть масса?// Успехи физических наук. - Т.170., - 2000. -№12. - С. 1363-1366
 317. Храпко Р.И., Спирин Г.Г., Разоренов В.М., Механика, М.: Из-во МАИ, 1993.
 318. Хуторской А.В. Технология проектирования ключевых и предметных компетенций // Интернет-журнал «Эйдос». - 2005. - 12 декабря. [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://www.eidos.ru/journal/2005/1212.htm>.
 319. Цілі Розвитку Тисячоліття: Україна. - К.: Міністерство економіки та з питань європейської інтеграції України, 2003. - 24 с.
 320. Шапошников Н.И., К статье Н.Кастерина «Sur la uen concordance du principe de relativite». Известия Ивано-Вознесенского политехнического института. Отдельный оттиск, 1919. Вып. 1. - С. 1-5.
 321. Шардаков М.Н. Мышление школьника. – М.: Учпедгиз, 1963. – 256 с.
 322. Шишловський О.О., Шишловська О.І. Питання променевої оптики та фотометрії у викладанні фізики. К.: Радянська школа, 1954.
 323. Шишов С.Е., Кальней В.А. Школа: мониторинг качества образования. - М., 2000. - С. 73-74.
 324. Шут М.І., Форостяна Н.П. Вибрані питання історії молекулярної фізики (XVIII чаток XX ст.). Навчальний посібник. - К.: “Шлях”, 2003. - 152 с.
 325. Эйнштейн А., Закон сохранения движения центра тяжести и инерция энергии, в кн./1.Собрание научных трудов

- А.Эйнштейна Т. 1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А.Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1967. - Т. 1. с.39
- 326.Эйнштейн А., , 1966. - Т.3, статья 7. - С.92-107.
- 327.Эйнштейн А., Зависит ли инерция тела от содержащийся в нем энергии?/Собрание научных трудов А.Эйнштейна Т.1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А. Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1976. - Т. 1, с.36,
- 328.Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики: развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов. Изд-во "Наука". Главная редакция физико-математической литературы. М., 1965. - 327.
- 329.Эйнштейн А., Испускание и поглощение излучения по квантовой теории. Собрание научных трудов: М.: Наука, 1966. - Т. 3, статья 43. - С. 386-392.
- 330.Эйнштейн А., К квантовой теории излучения. Собрание научных трудов: М.: Наука, 1966. - Т.3, статья 44. - С. 393-406
- 331.Эйнштейн А., К парадоксу Эренфеста // в кн. Теория относительности // в кн. Собрание научных трудов А.Эйнштейна Т. 1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А.Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1967. - Т.1. - с. 178.,
- 332.Эйнштейн А., К электродинамике движущихся тел. Собрание научных трудов. - М.: Наука, 1965. - Т.1, статья 1. - С.7-35
- 333.Эйнштейн А., О влиянии силы тяжести на распространение света//в кн. 1.Собрание научных трудов А.Эйнштейна Т. 1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А.Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1967. - Т.1. - с. 165.,
- 334.Эйнштейн А., О методе определения соотношения между поперечной и продольной массами электрона // в кн. 1.Собрание научных трудов А.Эйнштейна Т. 1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А.Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1967. - Т.1. - с. 45.,
- 335.Эйнштейн А., Принцип относительности и его следствия//Собр. науч. тр. Т.1., - М.: Наука, 1965. - С. 135-164.
- 336.Эйнштейн А., Теория относительности // в кн. Собрание научных трудов А.Эйнштейна Т. 1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А.Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1967. - Т.1. - с. 175.,
- 337.Эйнштейн А., Хопф Л., Об одной теореме теории вероятностей и ее применении в теории излучения // в кн. 1.Собрание научных

- трудов А.Эйнштейна Т. 1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А.Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1967.- Т.3 - с. 196.,
- 338.Эйнштейн А., Хопф Л., Статистическое исследование движения резонатора в поле излучения //в кн. 1.Собрание научных трудов А.Эйнштейна Т. 1-4 (Под ред. И.Е.Тамма, Я.А.Сморodinского, Б.Г.Кузнецова). - М.: Наука, 1967. - Т.3. - с.205,
- 339.Юськович В.Ф. Обучение и воспитание учащихся на основе курса физики средней школы. - М.: Учпедгиз, 1963. - 196 с.
- 340.Яворский Б.М. , Детлаф А.А. Справочник по физике: 3-е изд., испр. - М.: Наука. гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 624 с.
- 341.Якунин В.А. Обучение как процесс управления: Психологические аспекты / В.А.Якунин. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. - 160 с.
- 342.Abraham M., Prinzipien der Dynamik des Elektrons, Ann. Phys. (Leipzig) 10 [315] (1), 105-179 (1902)
- 343.Anderson, L.W., Krathwohl, D.R. A Taxonomy for learning, teaching, and assessing. - New York: Longman. 2001. – 156.
- 344.Bloom B.S. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Handbook I, cognitive domain. / B.S. Bloom. – New York: Longman., 1994. – 112 .
- 345.Bucherer A., Messungen an Becquerelstrahlen. Die experimentelle Bestätigung der Lorentz - Einsteinschen Theorie/ Phys. Z.4 54-57, (1908).
- 346.Bush V., The force between moving charges // J. of Math. and Phys. 1925-1926, 5. - P. 192.
- 347.Christopher H. Tienken. Conclusions from PISA and TIMSS Testing. KAPPA DELTA PI RECORD. April-June 2013. P.56-58.
- 348.Definition and Selection of Competencies. Theoretical and Conceptual Foundations (DESECO).
- 349.Duncan, A. (2010, December 7). Secretary Arne Duncan's remarks at OECD's release of the Program for International Student Assessment (PISA) 2009 results. Retrieved from <http://www.ed.gov/news/speeches/secretary-arne-duncans-remarks-oecd-release-program-international-student-assessment>
- 350.Duncan, A. (2012, December 11). Statement by U.S. Secretary of Education Arne Duncan on the release of the 2011 TIMSS and PIRLS assessments. Retrieved from <http://www.ed.gov/news/press->

- releases/statement-us-secretary-education-arne-duncan-release-2011-timss-and-pirls-assess
- 351.Einstein A., $E=mc^2$: The most urgent problem of our time Sci. Illustrated I 16-17, (1946)
 - 352.Einstein A., Elementary derivation of the equivalence of mass and energy Technion J. 5 16, (1916).
 - 353.Einstein A., Infeld L., The Evolution of Physics: the Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta (New York: Simon and Schuster), 1938.
 - 354.Ennis, R.H. An Annotated List of Critical Thinking Tests. Rev. Dec., 2009 :
сайт.URL:http://faculty.education.illinois.edu/rhennis/TestListRevised11_27_09.htmOur Concept and Definition of Critical Thinking. :
сайт. — URL: <http://www.criticalthinking.org/pages/our-concept-and-definition-of-critical-thinking/411>
 - 355.Feynman R., Leighton R., Sands M., The Feynman Lectures on Physics (Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1963-1965).
 - 356.Gerlach W., Handbuch d. Phys., 1933, 22. S. 11.
 - 357.Guye Ch. E., Lavansky C., C. Arch. Sc. Phys. Nat. Geneve., 1916, 41. S. 363-441.
 - 358.Heaviside O., On the electromagnetic effects due to the motion of electrification through a dielectric. Philos. Mag. 27, 324 - 339 (1889).
 - 359.Kaufmann W., Die elektromagnetische Masse des Elektrons/ Phys. Z.4 54-57, (1902)
 - 360.Larry Bielawski David Metcalf Blended eLearning: Integrating Knowledge, Performance, Support, and Online Learning, 2003 by HRD Press, Inc.
 - 361.Lewis G., Tolman R. , The principle of relativity and non-Newtonian mechanics // Philosophical Magazine. - Vol.18. - 1909. - pp. 510-523.,
 - 362.Lipman M. Thinking in education. 2nd ed. - Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2003. 188 p.
 - 363.Lord Raleigh, Philos. Mag., 49, 118 (1900); 59, 539 (1900).
 - 364.Lorentz H., Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light, Proc. Acad. of Sci., Amsterdam 6 809-831 (1904)
 - 365.Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M., & Jones, K. (2010, September). Evaluation of Evidence-Based Practices in Online

- Learning: A Meta-Analysis and Review of Online Learning Studies.
366. Mijares Illiana. Blended learning: Are we getting the best from both worlds? Literature Review for EDST 561 [Электронный ресурс]. URL:
<http://elk.library.ubc.ca/bitstream/handle/2429/44087/EDST561-LRfinal-1.doc.docx?sequence=1> (дата звернення: 03.08.2016).
 367. Moshman D. Intellectual Freedom for Intellectual Development // Liberal Education, Summer, 2003.
 368. Mullis, I.V.S., Martin, M.O., Ruddock, G.J., O'Sullivan, C.Y., & Preuschoff, C. (2009). TIMSS 2011 assessment frameworks. Chestnut Hill, MA: Boston College.
 369. Neuman G., Ann. d.Phys., 1914, 45 S. 529
 370. Patrick Griffin, Barry McGaw and Esther Care (eds.), Assessment and Teaching of 21st Century Skills, DOI: 10.1007/978-94-007-2324-5, Springer Science+Business Media B.V. 2012
 371. Paul R. Critical Thinking: What every Person Needs to Survive in a Rapidly Changing World. Rohnert Park, CA: Center for Critical Thinking and Moral Critique, Sonoma State Univ., 1990.
 372. Pintrich P. R. The Role of Metacognitive Knowledge in Learning, Teaching, and Assessing // Theory Into Practice. 2002. Vol. 41. Issue 4. P. 219 - 225.
 373. Plank M., Verhandl. Deutsch. phys. Ges., B.18, 1911, S. 138
 374. Poincare H., La theorie de Lorentz et le principe de reaction, Arch. Neerland. Sci. Exactes Naturelles, 5 252-278 (1900)
 375. Richards Griff. Athabasca University. Learning Analytics: On the Way to Smart Education [Электронный ресурс]. URL: http://distant.ioso.ru/seminar_2012/conf.htm (дата звернення: 03.08.2016).
 376. Rosental, R., & Fode, K. (1963) The effect of experimenter bias on the performance of the albino rat. Behaviorae Science, 8, 183-189.
 377. Rosental, R., & Jacobson, L. (1968). Pygmalion in the classroom: Teacher expectations and pupil's intellectual development. New York: Holt, Kinehart and Winston.
 378. Sadler G. Reconciling Four Models of Critical Thinking: FSU QEP, Paul-Elder, CLA, and APA Delphi.: сайт.— URL: https://www.academia.edu/480151/Reconciling_Four_Models_of_Critical_Thinking_FSU_QEP_Paul-Elder_CLA_and_APA_Delphi
 379. Strategy Paper on Key Competencies. An Overarching Frame of Reference for an Assessment and Research Program – OECD

(Draft).

380. TIMSS & PIRLS International Study Center. (2008). TIMSS and PIRLS 2011 survey operations procedures unit 1: Sampling schools and obtaining their cooperation. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
381. Tomson J., On the electric and magnetic effects produced by the motion of electrified bodies. *Philos. Mag.* 11(8), 229-249 (1881).
382. Richard Paul, Linda Elder. *The Miniature Guide to Critical Thinking Concepts and Tools: The Foundation for Critical Thinking* www.criticalthinking.org
383. Reed J. H., Kromrey J. D. Teaching Critical Thinking in a Community College History Course: Empirical Evidence From Infusing Paul's model – Statistical Data Included // *College Student Journal*. June, 2001.
384. Vess D. Creative writing and the Historian: an active learning Model for teaching the craft of History // *The History Teacher*. Vol. 30, Number 1. November 1996. P. 45-53.
385. Traxler John. Current State of Mobile Learning. *International Review on Research in Open and Distance Learning (IRRODL)* 8,no. 2. 2007. www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/346/875

Наукове видання

Терещук Сергій Іванович

**Теоретико-методичні основи навчання
квантової фізики в старшій школі**

Видається в авторській редакції

Підписано до друку 23.05.2018 р. Формат 60х84/16.

Папір офсетний. Ум. друк. арк. 16,6

Тираж 100 прим. Замовлення № 176

Видавничо-поліграфічний центр «Візаві»

20300, м. Умань, вул. Тищика, 18/19

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 2521 від 08.06.2006.

тел. (04744) 4-64-88, 4-67-77, (067) 104-64-88

vizavi-print.jimdo.com

e-mail: vizavi008@gmail.com

