

- M. Honey, E. Mandinach // J. Educational Computing Research. – vol. 32(3). – 2005. – P. 279-307.
14. Papert S. Situating constructionism / S. Papert, I. Harel. – Norwood, NJ : Ablex Publishing Corp, 1991. – P. 1-12.
15. Tall D. Advanced Mathematical Thinking / D. Tall, ed. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1991. – 289 p.

### *Аннотация*

*В данной статье освещается проблема применения информационно-коммуникационных технологий и технических средств при изучении математики в лицеях Франции. Автором раскрываются этапы развития данного процесса, а также его влияние на методику и качество математического образования.*

**Ключевые слова:** *информационно-коммуникационные технологии, математическое образование, информационное общество, Интернет, компьютерные программы.*

### *Annotation*

*In this article the problem of using of information and communication technology, technical means are cleared up while teaching mathematics in lycеums of France. The author analyzed the stages of development of the given process, and its influence on methods and quality of mathematical education in this country*

**Keywords:** *information and communication technology, mathematical education, information society, Internet, computer programs.*

УДК 383.03

*Терещук С. І.  
Національний педагогічний університет  
імені М. П. Драгоманова*

## **ЛОГІКА І СТРУКТУРА ЗМІСТУ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ ВИВЧЕННЯ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ**

*У статті розглядаються питання логіки та структури змісту навчання фізиці в загальноосвітніх навчальних закладах. Представлені результати перевірки рівня компетентностей старшокласників з питань квантової оптики. Обґрунтовано актуальність вирішення методичних проблем формування понять квантової оптики та їх кореляцію з компетентнісним підходом у вивченні фізики.*

**Ключові слова:** *профільна школа, квантова оптика, компетенції, компетентність, формування понять, квантова теорія, фотон, маса, енергія.*

В останні два десятиріччя розвиток змісту шкільної фізичної освіти скеровувався у контексті нових методологічних засад та інноваційних процесів у дидактиці фізики. Метою пропонованого аналізу структури та змісту курсу фізики старшої школи, є виокремлення орієнтирів за якими відбуватиметься подальший розвиток методичної системи вивчення фізики, що дозволить визначити напрямки і тенденції, яким відповідатиме нова методична система вивчення квантової фізики у профільної школи.

Крім мети, вкажемо на мотивацію даного аналізу, оскільки питання удосконалення змісту вивчення фізики детально розроблялися у свій час багатьма вченими радянської науково-методичної школи (О. І. Бугайов, В. Г. Разумовський, Л. І. Резніков, Н. О. Родіна,

Е. Є. Евенчик, С. Я. Шамаш та багато ін.).

В результаті проведеної реформи 1967-68 рр., курс фізики був структурований на основі різних форм руху матерії: механіка, властивості і будова речовини, фізичні поля та випромінювання, взаємодія речовини і поля. Причому вважалося, що усі структурні елементи мають відповідати наступним умовам: 1) об'єднанню навчального матеріалу навколо загальних фізичних ідей та принципів; 2) доступності та логічності викладу навчального матеріалу; 3) досягнення загальноосвітніх цілей навчання. Вказані умови були відображені в тогочасному змісті фізичної освіти, тому шкільний курс фізики містив наперед визначене коло явищ і законів, які об'єднані загальними фізичними ідеями, принципами і теоріями. У відповідності до вище означених умов, курс фізики наповнювався наступними змістовими одиницями: закони збереження маси, енергії, імпульсу, електричного заряду, взаємозв'язку маси та енергії; закони динаміки Ньютона; атомно-молекулярне вчення та залежність властивостей речовини від її внутрішньої будови; початкові уявлення про статистично-ймовірнісні закони; вчення про електромагнітне поле; фізичні основи електроніки; вчення про коливання і хвилі різної фізичної природи, електромагнітна природа світла; хвильова і квантова оптика; основи спеціальної теорії відносності; фізика атомного ядра і елементарних частинок, античастинки. Більш детальний аналіз структури і змісту показав, що попри намагання укладачів виокремити стрижневі ідеї усього курсу та конкретизувати шляхи реалізації загальних наукових положень, система фізичної освіти відповідала знаннєвій парадигмі і по суті складалась "... із *фізичних знань* з курсу природознавства, власне курсу фізики (у вигляді двох ступенів, що складають єдиний систематичний курс фізики) і астрофізичного матеріалу курсу астрономії" [4, с. 39].

На сьогодні, на сучасному етапі розвитку системи фізичної освіти, знаннєва парадигма поступово замінюється новою, що зорієнтована на розвиток особистості. Починаючи з кінця 80-х і початку 90-х років ХХ ст., спостерігаються зміщення акцентів у вивченні фізики з формування знань у бік створення в учнів системи поглядів на світ, розвиток їх мислення, розвиток екологічної культури, гуманізації через розкриття гуманітарного потенціалу фізики тощо.

До кінця 90-х і на початку ХХІ ст., проведені дослідження з теорії і методики навчання фізики засвідчили, що ці тенденції почали набувати швидкого розвитку і в подальшому мають таку ж перспективу. Відбулося створення нових концепцій, які спираються на: – методологічну переорієнтацію освітніх систем з формування суми знань на розвиток особистості через гуманізацію, реалізацію неперервності (наскрізності) фізичної освіти, особистісне спрямування і технологічний підхід (О. І. Ляшенко); – перехід від моделі "жорсткого" керування до диференційованості учнів за робочим темпом, індивідуальним стилем діяльності й мислення, управління процесом засвоєння знань (П. С. Атаманчук).

Відбулася розробка методичних систем, які: побудовані на основі базового курсу фізики (інтегрованого з астрономією, або іншими природничонауковими предметами) (М. Т. Мартинюк) та поглибленому вивченні фізики в профільних класах (О. І. Бугайов, С. У. Гончаренко); враховують змістові теоретичні та прикладні основи оволодіння учнями класичними аксіомами і квантовими ідеями структури природних явищ, ідей аксіоматичного, гіпотетичного, емпіричного та постулативного підходу до побудови складових фундаментальних теорій, які забезпечують циклічність та генералізацію навчального процесу (М. І. Садовий).

Крім цього, численні дослідження засвідчили, що досягнення і реалізація нових завдань, можливе через застосування у навчальній практиці сучасної школи педагогічних технологій та методик, що враховують розвиток в учнів наукового світогляду і

відповідного стилю мислення, екологічної культури, розвитку в них експериментальних умінь, дослідницьких навичок, творчих здібностей, критичного та креативного мислення.

У відповідності до вказаних тенденцій, зміст фізичної освіти отримав нове спрямування, а його змістовими одиницями стали категоріальні структури, що відбивають змістові лінії освітньої галузі “Природознавство”: речовина і поле; рух і взаємодії; закони і закономірності фізики; фізичні методи наукового пізнання; роль фізичних знань у житті людини і суспільному розвитку.

Тепер курс фізики складає два центри, що змістовно узгоджені із структурою загальноосвітньої школи – перший концентр відповідає основній школі (7-9 класи) і являє собою логічно завершений базовий курс фізики. Другий концентр за логікою розташування в загальній структурі фізичної освіти, відповідає старшій школі, яка повністю є профільною [8]. Причому зміст фізичної освіти в старшій школі визначатиметься вибраною навчальною програмою: рівень стандарту, академічний рівень та програма рівня профільного навчання (академічний рівень і профільний об'єднано).

Зміст курсу фізики 11 класу (у відповідності до програми рівня стандарту) побудовано за наступною логікою викладу навчального матеріалу. Спочатку розглядають механічні коливання (розділ “Коливання і хвилі”), потім ці знання використовують у наступному розділі “Хвильова і квантова оптика” [8, с. 63-64]. Це дозволяє показати, що різні за природою явища описуються аналогічними рівняннями, які з єдиних позицій пояснюють коливальні та хвильові процеси, крім того така наступність у змісті засвоєваних явищ дає можливість формувати відповідну систему знань. Цей підхід було запроваджено ще у програмах 1967-69 рр. [4, с. 40] і сповна себе виправдав [7, с. 112]. У наступному розділі “Хвильова і квантова оптика” вивчаються відомості про світло як електромагнітну хвилю, відомості про квантові властивості світла та фотони. Оскільки відомості про елементи спеціальної теорії відносності вивчаються згідно програми у курсі фізики 10 класу, це створює значний часовий проміжок, який не сприяє належному засвоєнню відомостей про світлові кванти, оскільки ці поняття викладаються у тісному взаємозв'язку з основними поняттями теорії відносності (наприклад, зв'язок енергії спокою з масою тіла  $E_0=mc^2$ , властивості фотона як ультрарелятивістської частинки).

Завершується курс фізики 11 класу вивченням атомної та ядерної фізики і відомостями про елементарні частинки, що передбачає розгляд наступних питань: ядерна модель атома; квантові постулати Н. Бора; випромінювання та поглинання світла атомами; атомні та молекулярні спектри, спектральний аналіз; рентгенівське випромінювання.

Після цього вивчають будову атомного ядра та елементарні частинки: атомне ядро та його протонно-нейтронна модель; ядерні сили; фізичні основи ядерної енергетики (енергія зв'язку, способи вивільнення ядерної енергії, ланцюгові ядерні реакції та ін.); ядерна енергетика та екологія, поняття радіоактивності; ядерна енергетика та екологія; радіоактивність; дозиметрія та радіоактивний захист людини.

Відомості про елементарні частинки представлено досить обмежено, що є не коректним, враховуючи останні досягнення фізики високих енергій: загальна характеристика елементарних частинок та їх класифікація; кварки; космічне випромінювання.

На підставі проведеного аналізу структури і змісту вивчення елементів квантової фізики, нами були проведені контрольні роботи і тести з метою перевірки рівня сформованості в учнів компетентностей з відповідних питань квантової оптики. У зв'язку з цим, були відібрані змістові одиниці, що включали поняття, закони, фізичні явища, уміння і навички старшокласників з розв'язування навчальних фізичних задач. Означені змістові одиниці виокремлені як системно утворюючі чинники, що враховують не лише

знання, поняття, уміння і навички як окремі категорії, а пов'язані між собою змістові одиниці через ціннісну складову, яка відбиває ставлення учнів до набутих знань і умінь, враховує успішність прийняття учнем певного рішення на основі досвіду застосування знань на практиці. При вивченні розділу “Хвильова і квантова оптика” було відібрано змістові одиниці, з якими учні зустрічаються вперше: 1. Світло як електромагнітна хвиля. 2. Інтерференція світлових хвиль. 3. Дифракція світлових хвиль. 4. Поляризація і дисперсія світла. 5. Оптичний дисперсійний спектр світла. 6. Гіпотеза М. Планка. 7. Світлові кванти (маса, енергія, імпульс фотона). 8. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла. 9. Явище фотоефекту. 10. Рівняння фотоефекту. 11. Квантові генератори та їх застосування.

За наведеними переліками змістових одиниць було складено контрольні роботи та тести з метою перевірки рівня засвоєння учнями відповідних фізичних понять, законів, розуміння суті фізичних явищ, уміння застосовувати отримані знання та закони для розв'язування задач тощо.

Результати тестування та проведених контрольних робіт, представлені у зведених таблицях 1.1 та 1.2.

Перед тим, як розкрити результати проведених контрольних зрізів та тестувань, вкажемо на критерії оцінювання рівня компетентності учнів 11-х класів та випускників шкіл з питань квантової фізики (квантової оптики).

Вивчення стану сформованості знань та умінь учнів перевірялося різними методами: контрольними роботами, спостереженням навчального процесу в експериментальних і базових школах, анкетуванням, проведенням бесід з учителями та учнями, тестуванням.

Контрольні роботи були покликані перевірити не лише сформованість певних понять, знання залежностей між фізичними величинами (формул), але й знання учнями схем та принцип дії технічних пристроїв, що мало відбивати їх компетентність з питань, що вивчаються. Наприклад: “Наведіть схему лічильника Гейгера, вкажіть призначення цього приладу та пояснить принцип його дії”. Важливо було з'ясувати наявність знань про особливості протікання фізичних явищ, умов їх спостереження, пояснення механізму їх перебігу. Тому до контрольних робіт нами було включено завдання, які мали розкрити наявність в учнів знань саме в такому аспекті, наприклад: “Яку роль відіграє явище інтерференції в дифракції?” або: “Вкажіть умови, необхідні для виникнення дифракції.” Крім цього, контрольні роботи вимагали сформованість в учнів відповідних компетентностей через застосування знань з різних розділів у дещо змінених задачних ситуаціях (для випускників шкіл).

Тести були спрямовані на з'ясування рівня сформованості компетенцій, які відповідають умінням старшокласників оперувати і використовувати отримані знання для аналізу фізичних явищ або процесів, порівняння і узагальнення отриманих емпіричних даних. За структурою пропоновані тести мали особливість – учням пропонувалося обрати не відповідь на поставлене тестове завдання, а твердження. Таких тверджень пропонувалося кілька і серед них було кілька правильних, на які учень повинен був вказати. Такий підхід у практиці тестування зарекомендував себе як високоефективний спосіб уникнення спроб угадування, до якого подекуди вдаються учні. Крім цього, вказаний спосіб дозволив нам більш глибоко здійснити аналіз змісту та структури компетенцій, набутих учнями, з'ясувати зв'язки між успішним формуванням окремих понять та психолого-педагогічними особливостями їх утворення у свідомості учнів.

Т а б л и ц я 1.1

**Результати контрольних робіт проведених після вивчення розділу “Хвильова і квантова оптика” за навчальними програмами з фізики (рівень стандарту)**

№	Що вивчалось	К-ть відповідей	Правильна відповідь		Неправильна відповідь		Відповіді не дано	
			Число	%	Число	%	Число	%
1	Світло як електромагнітна хвиля	119	45	37,8	40	33,6	34	28,6
2	Інтерференція світлових хвиль	123	77	62,6	29	23,6	17	13,8
3	Дифракція світлових хвиль	120	62	51,7	36	30	22	18,3
4	Поляризація і дисперсія світла	125	64	51,2	43	34,4	18	14,4
5	Оптичний дисперсійний спектр світла	118	79	66,9	25	21,2	14	11,9
6	Гіпотеза М. Планка	122	88	72,1	19	15,6	15	12,3
7	Світлові кванти	124	54	43,5	27	21,8	43	34,7
8	Енергія та імпульс фотона	139	69	49,6	41	29,5	29	20,9
9	Корпускулярно-хвильовий дуалізм	115	75	65,2	33	28,7	7	6,1
10	Явище фотоефекту	119	58	48,7	39	32,8	22	18,5
11	Тиск світла	114	54	47,4	48	42,1	12	10,5
12	Квантові генератори та їх застосування	122	69	56,6	43	35,2	10	8,2

Аналіз контрольних робіт, які проводились під час констатувального експерименту у класах, що вивчали курс фізики 11 класу за новими програмами [8] (рівень стандарту), показав, що учні не в однаковій мірі засвоюють різні питання хвильової та квантової оптики (табл. 1.1).

Добре сформованими виявились знання учнів про хвильові властивості світла. Так, відсоток правильних відповідей виявився вищим, ніж відсоток неправильних для відомостей про інтерференцію (62,6% і 23,6% відповідно), дифракцію (51,7% і 30%), поляризацію та дисперсію світла (51,2% і 34,4%).

Відсоток не отриманих відповідей (13,8%, 18,3% та 14,4% відповідно) засвідчив про наявність певних проблем у засвоєнні даного навчального матеріалу. Для з'ясування причин нами було проведено опитування та індивідуальні бесіди з учнями, спостереження за навчальним процесом. На підставі аналізу результатів цих досліджень ми дійшли висновку, що:

1. Великий відсоток учнів нездатні навести в достатній кількості факти, які б доводили, що світло є електромагнітними хвилями (33,6% неправильних і 28,6% не отриманих відповідей). Декорті учні вказували лише окремі факти – дисперсія, інтерференція тощо. Детальніше вивчення цього питання показало основну причину

такого стану речей – методичні недопрацювання учителів, коли часто-густо перевага надається знанням учнями формул та умінням розв'язувати ними розрахункові задачі.

2. Значна частина учнів (85% від кількості тих, що не дали відповідь) недостатньо розуміють єдиність механічних та електромагнітних коливань (як явищ різної природи, що описуються аналогічними законами та однаковими поняттями). З'ясувалося, що поняття хвилі учні часто пов'язують лише з механічними хвилями. Основні властивості хвиль (інтерференція, дифракція) та геометричні властивості (заломлення і відбивання) розглядаються також лише на прикладі механічних хвиль. Згодом, учням важко зрозуміти, чому електромагнітна хвиля поширюється у вакуумі (механічні хвилі поширюються у середовищі).

3. Достатньо добре (на рівні 60%) засвоєними виявились основні формули, формулювання означень явищ інтерференції та дифракції. Значно гірше (на рівні 25-30%) учні були здатні пояснювати ці явища, застосовувати закони та відомі факти для пояснення тих чи інших оптичних явищ. Так, наприклад, 65% учнів допускають неточності і грубі помилки при поясненні оптичних явищ із застосуванням поняття інтерференції світлових хвиль в тонких плівках. Частина учнів були нездатні застосувати отримані знання про інтерференцію та дифракцію світла під час розв'язування задач. Детальніше вивчення цього питання показало, що досить часто учні погано засвоювали механізм утворення дифракційної картини, не бачили зв'язку між інтерференцією та дифракцією, зокрема не вказували на інтерференцію вторинних хвиль при поясненні дифракції.

Так, результати проведених контрольних робіт показали, що відомості про квантові властивості світла, поняття про квант, фотон виявились сформованими неоднаково, а відповіді учнів містили помилки і неточності, що наводили на думку про необхідність у додаткових дослідженнях стану сформованості відповідних понять.

Аналіз результатів контрольних робіт та тестування показали, що фактичний матеріал засвоєний добре. Більшість учнів здатні пояснити гіпотезу Планка (72,1% правильних відповідей). Однак, з'ясувалося, що оперування поняттями “фотон”, “енергія” та “імпульс” фотона викликає значні труднощі, які були особливо помітні при проведенні тестування або розв'язуванні задач. Так, майже половина учнів продемонстрували незадовільні результати, при розв'язуванні задач із застосуванням відомостей про енергію та імпульс фотона (29,5% і 20,9% неправильних та не отриманих відповідей). Несподівано низьким (43,5%) виявився рівень правильних відповідей, водночас порівняно багато учнів (34,7%) проігнорували запитання про світлові кванти. Під час бесід з учнями було з'ясовано, що ті з них, хто не дав відповіді або проігнорував застосування поняття “квант світла”, схильні вважати, що дане поняття “схоже” з поняттям “фотон”. Спостереження за навчальним процесом та аналіз відповідної методичної літератури, наштовхнули нас на думку про те, що поняття “фотон” і “квант світла” засвоюються старшокласниками як схожі за змістом і відрізняються лише за назвою. Цьому сприяє відповідна методика їх формування. У методиці навчання фізики завжди був загальноприйнятим підхід, коли вивчення природи світла вивчали через ознайомлення учнів із явищами, що супроводжувалися взаємодією світла з речовиною та законів, яким підкоряються ці явища [5]. До таких явищ відносяться випромінювання абсолютно чорного тіла і фотоелектричний ефект. Традиційно поняття “фотон” вводилося шляхом аналізу явища фотоелектричного ефекту. Перевага такого підходу очевидна – явище фотоефекту легко продемонструвати і увести поняття “квант світла”, спираючись на його результати. Спочатку вивчали досліди з демонстрації явища фотоефекту без вживання терміну “квант світла”. Потім після з'ясування особливостей фотоелектричного ефекту і вивчення його законів, розбирали

механізм протікання цього явища і вводили поняття “квант випромінювання”, енергія якого  $E = h\nu$ . Лише після цього учням пояснювали, що таке фотон. Однак, аналіз методичних рекомендацій, щодо описаного підходу у формуванні поняття фотон, дозволив виявити одну суттєву і малопомітну, на перший погляд, деталь – усі автори не приділяли належної уваги поясненню – чому “квант світла” почали називати “фотоном”. Поза увагою більшості авторів залишилось питання методологічних та методичних наслідків ототожнення фотона та кванту світла. У більшості літературних джерел з методики навчання фізики лише мимохідь згадують, що квант світла схожий на частинку, тому його почали називати фотоном. Так, у посібнику з методики викладання фізики за редакцією В. П. Орехова та А. В. Усової [5] відзначається: “Німецький фізик М. Планк (1858-1947) у пошуках виходу з тогочасного протиріччя, висловив думку про хибність вихідного положення класичної фізики щодо неперервного випромінювання світла (енергії). Він прийшов до висновку, що дане положення повинно бути замінено новим: світло випромінюється тілом не неперервно, а дискретно, особливими порціями, котрі Планк назвав квантами. Згодом вони були названі фотонами” [5, с. 302]. У посібнику [9] прямо ототожнюють фотони і кванти світла: “Але можуть бути вказані основні ідеї, які привели Ейнштейна до висновку про існування порцій світла – фотонів” [9, с. 175]. Та сама думка висловлюється у посібнику [3]: “Кванти світла мають багато властивостей частинок; щоб підкреслити подібність між квантами світла і частинками, кванти називають ще фотонами” [3, с. 141]. Фотон – складне наукове поняття, введення якого потребує ретельної методичної підготовки учителя. Відомості про кванти світла і фотони, квантові властивості світла попри свою зовнішню “простоту” (яка поза сумнівом є позірною), потребують ґрунтовної теоретичної підготовки учителя. Тому для розробки методики формування понять фотон і квант світла в рамках нової методичної системи, яка враховуватиме різні профілі вивчення квантової фізики, нами було переглянуто зміст даних понять у сучасній фізичній науці. Про необхідність такого перегляду, свідчать й результати контрольних зрізів знань.

Подальший аналіз особливостей вивчення відомостей про енергію та імпульс фотона показав, що помітно значна кількість учнів хибно вважають, що фотон має масу. Саме цим пояснюються показники неправильних і не отриманих відповідей для відомостей про енергію та імпульс фотона (відповідно 29,5% і 20,9%), явище фотоефекту (відповідно 32,8% і 18,5%), тиск світла (відповідно 42,1% і 10,5%) (табл. 1.1). До такого висновку ми дійшли здійснивши аналіз програм [8], підручників [1; 6] та провівши додаткові анкетування учнів і бесіди з учителями під час спостереження за навчальним процесом.

У більшості підручників з фізики та науково-популярній літературі, стверджується про наявність у фотонів маси. Так, у підручнику [2] йдеться про наступне: “Фотон має енергію  $\varepsilon = h \cdot \nu = h \frac{c}{\lambda}$ . Масу фотона  $m_0$  визначимо із закону взаємозв'язку маси й енергії

$m_0 = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$ .” [2, с.166]. І далі: “За відомою масою і швидкістю фотона можна визначити його імпульс... . З наведених міркувань зрозуміло, що фотон, як і будь-яка інша частинка, характеризується енергією, масою і імпульсом” [2, с.166]. У цьому ж підручнику на сторінці 255 у параграфі “Характеристики елементарних частинок” наведено таблицю, в якій маса спокою фотона дорівнює 0. У більшості підручників з фізики пояснюється, що фотон не має маси спокою  $m_0$ , тобто в стані спокою він не існує, утворившись, відразу набуває швидкості  $c$ . Отже, керуючись такою логікою, можна стверджувати, що маса

$m_{\phi} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$  – це маса фотона, який рухається із швидкістю  $c$ . На запитання “Чому світло чинить тиск?”, більшість учнів (70% з тих, що дали правильну відповідь), відповідають – “Тому що фотони мають масу і внаслідок ударів об поверхню передають їй імпульс”. Таким чином, учні переконані в тому, що фотон має масу.

Аналіз результатів контрольних зрізів засвідчив масове нерозуміння учнями поняття “фотон” та його властивостей, неправильне використання залежності маси та енергії під час розв'язування якісних задач та запитань, хибні уявлення про природу світла та корпускулярно-хвильовий дуалізм їх властивостей.

З метою з'ясування причин такого стану та поелементного аналізу змісту понять, що засвоюються учнями, нами було проведено додаткові тестування. Результати тестування подано у вигляді таблиці, де вказано частка учнів, які обрали правильні або хибні твердження (табл. 1.2.). Результати виявились дещо неочікуваними.

Так, 53,8% опитаних учнів вважають що масу фотона можна визначити за хибною формулою  $m = \frac{h\nu}{c^2}$ , що є наслідком її наведення у більшості шкільних підручників різних

років видання. Особливо дивним і несподіваним виявився відсоток учнів, які переконані у наявності у фотона маси спокою (31%). Проведені бесіди з цими учнями, показали, що більшість з них не розуміють або плутаються у термінах “маса спокою”, “релятивістська маса” і нездатні пояснити відмінності цих понять від поняття “маса”.

Досить добре учні усвідомлюють, що світло можна віднести до електромагнітних хвиль, оскільки для нього спостерігаються явища інтерференції, дифракції та поляризації (92,3%). Однак, значно нижчим виявився відсоток учнів, які вважають доказом хвильової природи світла здатність останнього відбиватися від перешкод і змінювати напрямок поширення (заломлюватися) та здатність поширюватися у вакуумі із тією ж швидкістю що й електромагнітні хвилі – 53,8% і 55% відповідно. Причина, на наш погляд, приділення недостатньої уваги цим питанням авторами відповідних сучасних підручників (такої думки притримуються також більшість опитаних учителів).

З'ясувалося, що учні погано розуміють відмінність між поняттям “квант світла” і “фотон”, хоча на цьому тлі оптимістичним виглядає відсоток учнів, які переконані, що світло поглинається і випромінюється квантами (майже 70%). Майже третина опитаних вважають, що фотон – частинка, яка не має маси спокою та електричного заряду (31,1%). В той же час 46,2% без вагань відповіли, що квант світла це частинка і лише 23% переконані, що квант світла це окрема порція електромагнітної енергії, що пропорційна частоті  $\nu$ .

Помітно велика частка опитаних вважають, що енергію фотону можна визначити за формулою  $E = mc^2$  (77%). Очевидно, що саме це є передумовою хибного уявлення багатьох учнів стосовно маси фотона. Відносно велика кількість учнів вважають, що фотон може рухатися із швидкістю, що перевищує швидкість світла у вакуумі (38,5%).

Проведений аналіз результатів контрольних зрізів знань та тестування старшокласників, навели нас на думку про необхідність перегляду змісту наукових понять “фотон”, “маса”, “енергія” частинок відповідно до сучасних наукових уявлень, що мають місце у квантовій механіці.

Навіть побіжний аналіз змісту цих понять, свідчить про наявність методичних проблем, пов'язаних з їх новим трактуванням у науці. Наприклад, серед науковців-фізиків загальноновизнаним вважається, що наявність у фотона маси (коли він рухається із швидкістю світла у вакуумі) призвело б до несталості його швидкості у вакуумі, яка мала б залежати від його енергії, що має місце для частинки з масою  $m \neq 0$ .

Т а б л и ц я 1.2

**Результати проведених тестів серед учнів 11-х класів, що вивчали розділ  
“Хвильова і квантова оптика” (рівень стандарту)**

№	Відповіді або твердження, що містилися в тестових завданнях	Всього протестованих	Відносна кількість учнів, які обрали такі відповіді або твердження
1	Масу фотона можна визначити за формулою $m = \frac{h\nu}{c^2}$	130	53,8%
2	Фотон має масу спокою $m_0 = \frac{h\nu}{c^2}$	120	30,8%
3	Квант світла це частинка з енергією $h\nu$	135	46,2%
4	Квант світла це окрема порція електромагнітної енергії, що пропорційна частоті $\nu$	131	23%
5	Світло електромагнітна хвиля, оскільки для світла можна спостерігати явища інтерференції, дифракції та поляризації.	128	92,3%
6	Світло електромагнітна хвиля, оскільки для світла можна спостерігати явища заломлення і відбивання	131	52,7%
7	Світло електромагнітна хвиля, оскільки швидкість світла дорівнює швидкості електромагнітних хвиль	130	55%
8	Світло поглинається і випромінюється квантами	133	69,2%
9	Рівняння Ейнштейна для фотоэффекту має вигляд $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$	134	53%
10	Фотон – частинка, яка не має маси спокою та електричного заряду	130	31%
11	Енергію фотону можна визначити за формулою $E=mc^2$	129	77%
12	Фотон може рухатися із швидкістю, що перевищує швидкість світла у вакуумі	132	38,5%

Тоді для групової швидкості електромагнітних хвиль можна було б записати:

$$\frac{v}{c} = \frac{k}{\sqrt{k^2 + m_\gamma^2 c^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_\gamma}\right)^2}} \quad (1)$$

де  $\lambda_\gamma$  - комптонівська довжина хвилі для фотона. На підставі (1) можна стверджувати, що швидкість синього світла була б більшою, ніж червоного у вакуумі (дисперсія швидкостей). Однак, останнє твердження було експериментально спростовано де Бройлем (спираючись на даний факт, він оцінював верхню межу маси фотона), який зазначав, що наявність дисперсії швидкості світла у вакуумі призвела б до виникнення кольорових явищ при затемненні подвійних зірок: синє світло приходило б раніше червоного.

Підкреслимо, що наявність у фотона маси немало б негативних наслідків ні для СТВ, ні для квантової електродинаміки. Очевидно, проблема формування поняття фотона

(енергія, імпульс маса фотона, взаємодія світла з речовиною та ін.) має складний методичний характер і пов'язана із формуванням не менш складного поняття енергії та її зв'язку з масою частинок ( $E = m \cdot c^2$ ).

Поелементний аналіз знань учнів, аналіз підручників та навчальної програми (рівень стандарту), відвідування уроків з метою спостереження за навчальним процесом, бесіди з учителями і методистами, дозволили зробити наступні висновки.

Навчальний матеріал з хвильової та квантової оптики, будови атома та атомного ядра засвоєні учнями неповністю. Достатньо добре більшістю учнів (від 70-90%) виявились засвоєними відомості про закони, постулати, основні формули, означення фізичних величин, понять, явищ, правила і схеми технічних пристроїв. Однак, навчальний матеріал якісного характеру, розуміння механізму протікання та ознаки явищ, їх пояснення на основі фізичних теорій, межі застосування теорій та конкретних закономірностей, роль модельних уявлень у з'ясуванні особливостей протікання процесів, розуміння фізичної сутності окремих понять, формул, що пов'язують між собою ці поняття певним фізичним змістом – розуміють і засвоюють ледь третина учнів. Таким чином, можна стверджувати про низький рівень компетентності учнів, який виявився саме під час розв'язування творчих завдань, якісних задач або необхідності прийняття рішення у нестандартних проблемних завданнях. В чому причина такого стану знань учнів старшої школи?

У пошуку відповіді на це питання нами було проаналізовано науково-методичну літературу, підручники, навчальні програми, проведені бесіди із учителями, методистами. Усі можливі фактори, які б мали негативний вплив на формування понять, було зведено до кількох груп причин:

1. Причини що викликані методичними особливостями викладання навчального матеріалу, які спричинені фаховою підготовкою учителів, коли старі методичні ідеї (викладені у методичних посібниках та підручниках) впливають не лише на методичні уподобання учителів, а й на окремі уявлення про складні наукові поняття. Наприклад, більшість учителів переконані, що фотон має релятивістську масу, а його маса спокою дорівнює нулю.

2. Недостатнє відбиття нових ідей профільних програм у відповідній методичній літературі та підручниках. Поряд з цим спостерігається інертність сприйняття нововведень методичних підходів, зокрема у формуванні понять квантової оптики і теорій, що супроводжують вивчення цих відомостей.

3. До третьої групи причин слід віднести невідповідність сучасних наукових уявлень про будову речовини і тих уявлень та понять, які формуються в учнів через навчальні програми, підручники, науково-популярну літературу, методичні посібники. Ця невідповідність найбільш яскраво проявилась у різних підходах до вивчення понять маси та енергії та цілої низки понять і законів, що їх супроводжують (енергія спокою, релятивістська маса, маса спокою, зв'язок енергії та маси тощо).

У зв'язку з наведеними групами причин, нами було зроблено припущення, що в основі вказаних проблем засвоєння учнями відомостей з квантової оптики є незадовільне засвоєння стержневих понять, навколо яких структурно розташований увесь навчальний матеріал відповідних розділів. Це фундаментальні поняття теорії структурної організації матерії – маса речовини та енергія. Більшість понять теорій будови речовини від молекулярно-кінетичної теорії до квантової механіки, з'єднані цими поняттями, як фізичними величинами, що характеризують елементарні частинки. Інакше кажучи, означені поняття виступають своєрідним цементуючим розчином, який утримує і утворює класи понять. Водночас, поняття маси та енергії часто виступають ознаками для класифікацій об'єктів дослідження (наприклад, на початку утворення фізики високих

енергій, маса була ознакою для класифікації елементарних частинок). Ще однією важливою особливістю цих понять є їх фундаментальність як характеристик чотирьох фундаментальних взаємодій. Математичний апарат усіх чотирьох фундаментальних взаємодій включає масу і енергію як важливі характеристики фундаментальних частинок – переносників взаємодій. Одним з наслідків цього є те, що поняття маси і енергії як фізичні величини характеризують властивості тіл як макро-, так і мікро- та мегасвіту.

Серед учених-фізиків, вчених-методистів існують різні погляди на поняття маси та енергії в контексті їх сучасного наукового змісту та методичних підходів до їх вивчення, між якими поза сумнівом існує кореляційний зв'язок. Водночас здобутки теорії відносності внесли нові погляди не лише на методичні та методологічні аспекти використання цих понять, але й на філософські погляди нового поняттєвого утвору “маса-енергія”, коли відбулося цілком упереджене отожднення понять маси і енергії через досить вільне трактування простої, на перший погляд, формули  $E_0 = m \cdot c^2$ . Не заглиблюючись тут у деталі цих дискусій, відзначимо, що навчальні програми та підручники досить однобічно висвітлюють, а відтак і формують не лише в учнів, а й у вчителів розуміння складних за змістовим навантаженням понять – маси та енергії.

Таким чином, новий зміст програм старшої школи [8] та відповідних підручників, вимагає не лише перегляду методичних підходів з формування відомостей квантової фізики, що вивчаються, а глибокий науково-методичний аналіз змісту складних наукових понять з наступним приведенням їх у відповідність до сучасних наукових уявлень, які постійно змінюються внаслідок швидкого розвитку фізичної науки та не менш швидкого зростання нових науково-містких технологій виробництва, інформаційних технологій, нанотехнологій тощо.

#### **Використана література:**

1. 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.
2. Гончаренко С. У. Фізика: проб. навч. пос. для 11 кл. шк. III ступ., гімназій і ліцеїв гуманіт. проф. – 2-ге видання / С. У. Гончаренко. – К. : Освіта, 1998. – 287 с.
3. Гончаренко С. У. Формування наукового світогляду учнів під час вивчення фізики : Посібник для вчителя / С. У. Гончаренко. – К. : Рад. шк., 1990. – 208 с.
4. Проект новых программ средней школы по физике и астрономии. – Физика в школе. – 1967. – № 1. – С.39-44.
5. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Ч.2 / В. П. Орехов, А. В. Усова, С. Е. Каменецкий и др. ; под ред. В. П. Орехова, А. В. Усовой. – М. : Просвещение, 1980. – 351 с.
6. Сиротюк В. Д. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (рівень стандарту) / В. Д. Сиротюк, В. І. Баштовий. – Харків : Сиція, 2011. – 304 с.
7. Совершенствование содержания обучения физике в средней школе / под ред. В. Г. Зубова, В. Г. Разумовского, Л. С. Хижняковой; Научно-исслед. ин-т содержания и методов обучения. Акад.пед.наук СССР. – М. : Педагогика, 1978. – 176 с.
8. Фізика. 10-11 класи.[Електронний ресурс] Навчальні програми для 10-11 класів загальноосвітніх навчальних закладів // ВГ “Основа”, 2012. URL:<http://www.mon.gov.ua/index.php/ua/diyalnist/osvita/doshkilna-ta-zagalna-serednya/zagalna-serednya-osvita/23-diyalnist/osvita/doshkilna-ta-zagalna-serednya/4326>
9. Яворский Б. М. Основные вопросы современного школьного курса физики. – М. : Просвещение, 1980. – 317 с.

#### **Аннотация**

*В статье рассматриваются вопросы логики и структуры содержания обучения физике в общеобразовательных заведениях. Представлены результаты проверки уровня компетенций старшеклассников по вопросам квантовой оптики. Обоснована актуальность решения методических*

проблем формирования понятий квантовой оптики и их корреляция с компетентностным подходом в изучении физики.

**Ключевые слова:** профильная школа, квантовая оптика, компетенции, компетентность, формирование понятий, квантовая теория, фотон, масса, энергия.

### *Annotation*

*The article examines the logic and structure of school physics course. The results of testing the level of competency of senior on quantum optics. The urgency of solving the methodological problems of the formation of concepts of quantum optics and their correlation with the competency approach in the study of physics.*

**Keywords:** profile school, quantum optics, competence, competence, concept formation, the quantum theory, the photon, mass, and energy.

УДК 373.54:53

**Тіщенко І. М.**  
**Інститут педагогіки НАПН України**

## **ГЕНЕЗИС ЗАДАЧНОГО ПІДХОДУ ДО НАВЧАННЯ ФІЗИКИ**

*У статті здійснено аналіз еволюції впровадження задачного підходу на уроках фізики та теоретично обґрунтована необхідність технологічної реконструкції навчання розв'язання задач як передумови розвитку профільної школи.*

*На підставі проведеного аналізу запропоновані засоби навчання з проектування навчальної діяльності учнів на уроках фізики.*

**Ключові слова:** *задачний підхід, педагогічна технологія, диференціація, профільне навчання, засоби навчання.*

Українською системою освіти за роки її існування напрацьовано різноманітні форми і методи навчання, розкрита структура і зміст задач, значна увага приділялася проблемам навчання складання і розв'язання задач учнями, опубліковано багато наукових праць щодо використання задачного підходу до навчання фізики, створено численні посібники, методичні рекомендації з відбору системи задач та методики їх розв'язування, але недостатньо уваги приділялося технологічним аспектам навчання розв'язування задач.

Задачний підхід до вивчення фізики є одним із найбільш уживаних учителями методів побудови навчальної діяльності школярів, тому методика його застосування в навчальному процесі, а особливо технологія навчання розв'язання задач заслуговує на увагу викладачів і науковців. Проте, на нашу думку, він ще не отримав достатнього методичного обґрунтування і не приведений у відповідність з вимогами диференційованого підходу в умовах профільного навчання; відсутні також описи технологій навчання розв'язування задач, які б забезпечували більш високу ефективність і якість навчання фізики.

Зміст навчання повинен охоплювати не лише навчальний матеріал, що підлягає засвоєнню, але й те, що і на якому рівні, яким чином, засвоєно, тобто включає технології, форми організації навчальної діяльності, методи навчання та діагностику його результатів в тій мірі, в якій все це впливає на розвиток особистості.