

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бубенников А. В. Начертательная геометрия : учебник для вузов / А. В. Бубенников, М. Я. Громов. – М. : Высш. школа, 1973. – 416 с.
2. Гильберт Д. Наглядная геометрия / Д. Гильберт, С. Кон-Фоссен; пер. с нем. – М. : Наука, 1981. – 344 с.
3. Климухин А. Г. Начертательная геометрия : учеб. пособие / А. Г. Климухин. – М. : Архитектура-С, 2007. – 336 с.
4. Королев Ю. И. Начертательная геометрия : учебник для вузов / Ю. И. Королев. – СПб. : Питер, 2010. – 266 с.
5. Королев Ю. И. Начертательная геометрия : учебник для вузов / Ю. И. Королев. – М. : Архитектура-С, 2014. – 422 с.
6. Кузнецов Н. С. Начертательная геометрия : учебник для вузов / Н. С. Кузнецов. – М. : Высш. школа, 1969. – 501 с.
7. Михайленко В. Є. Нарисна геометрія : підручник / В. Є. Михайленко, М. Ф. Євстіфєєв, С. М. Ковальов, О. В. Кащенко. – К. : Вища школа, 2004. – 303 с.
8. Четверухин Н. Ф. Проективная геометрия / Н. Ф. Четверухин. – М. : Просвещение, 1969. – 368 с.

Дата надходження до редакції: 05.02.2015 р.

УДК 53.084.85:577.344:621.8.035

Микола НОВОСЕЛЕЦЬКИЙ,
кандидат фізико-математичних наук, доцент
Рівненського державного гуманітарного університету

Богдан НЕЧИПОРУК,
кандидат фізико-математичних наук, доцент
Рівненського державного гуманітарного університету

Віталій ТИЩУК,
кандидат педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри методики викладання фізики і хімії
Рівненського державного гуманітарного університету

АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТКУ НАУКИ ПРО ПРИРОДУ І ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА

У статті охарактеризовано підходи стосовно розвитку в учнів уявлень про світло, розглянуто проблемні питання, що виникають при цьому та носять дискусійний характер. Доведено, що школярі повинні отримувати не кінцевий продукт, а інформацію для роздумів про складність та невичерпність довкілля.

Ключові слова: електромагнітні хвилі, властивості світла, квант світла, фотоефект, корпускулярно-хвильовий дуалізм, маса фотона.

В статті дана характеристика підходам относительно развития в учащихся представлений о свете, рассмотрены проблемные вопросы, возникающие при этом и носящие дискуссионный характер. Доказано, что школьники должны получать не конечный продукт, а информацию для размышлений о сложности и неисчерпаемости окружающей среды.

Ключевые слова: электромагнитные волны, свойства света, квант света, фотоэффект, корпускулярно-волновой дуализм, масса фотона.

The article describes approaches to the development of students' ideas about light, problematic issues arising from this and is discussion. It is proved that students should not get the final product and food for thought on the complexity and vastness of the environment.

Key words: electromagnetic wave properties of light, light quanta, photoelectric effect, wave-particle duality, the mass of the photon.

Світ природи та світ людини тісно пов'язані між собою складними і неоднозначними відношеннями. Природа унікальна і не втручається в життєдіяльність людини до того моменту, поки людина сама не почне втручатися в її процеси, що в кінцевому результаті призводить до серйозних проблем.

Людина як частина природи живе та існує за її законами. Унікальною особливістю людини є її здатність до мислення, що формується і вдосконалюється упродовж усього її життя та є невід'ємним атрибутом її існування. Виходячи з цього, зупинимося на питаннях аналізу та вироблення дослідницьких навичок у ході вивчення фізики, зокрема вчення про світло.

Формування аналітичного мислення і дослідницьких навичок учнів цілком можливе при з'ясуванні сутності фізичних явищ, понять та безпосередній роботі із сучасними вимірними приладами, дія яких ґрунтується на використанні відомих фізичних явищ та ефектів. Зважаючи на це, пропонуємо засади теоретичного і практичного характеру для досягнення цієї мети при аналізі концепцій становлення і розвитку науки про світло, завдяки якому людина почала пізнавати світ. Питання цієї теми вивчаються фактично упродовж усього шкільного курсу фізики [1-3].

Ознайомившись із теоретичним матеріалом, зокрема історичним етапом його становлення, та провівши експериментальні дослідження, учні можуть побувати в ролі дослідників (самостійно спостерігати оптичні явища й оптичні спектри, висловлюючи міркування щодо їх пояснення; визначати числові значення певних сталих фізичних величин; знімати й аналізувати певні залежності; знайомитися з будовою та принципом дії оптичних приладів тощо). Ці питання надзвичайно важливі для молодих людей, адже дають їм змогу орієнтуватися в сучасному світі складних речей, створених на базі класичних та квантових властивостей конденсованих середовищ (XX ст.), а в перспективі – досягнень нанотехнологій (XXI ст.). Це є викликом сьогодення і для його реалізації потрібно навчити учнів сприймати й усвідомлювати квантову фізику, історія якої на сьогоднішній день нараховує більше 100 років, проте в школі вивчається в надто урізаному, квазікласичному вигляді. Заслуговує на увагу посібник [4], в якому автори пропонують сучасне бачення методики викладання в загальноосвітній школі засад квантової фізики.

Розглянемо деякі питання еволюції понять про природу та властивості світла, оскільки це може стимулювати в учнів прагнення до пошуку, розвитку пізнавальних інтересів, аналітичного сприйняття інформації, усвідомлення єдності природи. Учні досягають розуміння того, що наука створена людиною та для людини і вся система її понять підібрана таким чином, щоб відповідати природі людської свідомості. Кінцева мета наукових понять – пояснити і передбачити явища, що діють на наші органи чуттів, а через них – на фізичні прилади.

Варто зазначити, що оптикою цікавилися ще філософи стародавнього світу. Свідченням цього є наявні небагаточисельні документи того періоду. Ймовірно, що саме піфагорійці вперше висунули гіпотезу про особливий флюїд, який випромінюється очима і наче шупальцями торкається досліджуваного предмета. Атомісти були прихильниками випускання предметами «примар», які, потрапляючи в око, викликають відчуття форми і кольору. На думку Птолемея, із предметів виходить спеціальний флюїд, який зустрічається з «м'яким світлом дня», що поширюється з наших очей. Якщо обидва флюїди подібні, то, зустрічаючись, вони «міцно зв'язуються», а око отримує відчуття видимого. Якщо ж «світло очей» зустрічається з вихідним флюїдом, він гаситься і не дає очам ніяких відчуттів.

Найдавнішим документом є трактат про оптику Евкліда (300 років до н.е.), який складається з двох частин «Оптика» і «Катоптрика» (відбиття). У них стверджується, що:

1) випромінювані очима промені поширюються

прямолінійно;

2) фігури, що утворюються променями зору, являють собою конус, вершина якого знаходиться в оці, а основою служить межа предмета. На основі цих постулатів Евклід обґрунтовує геометричне трактування оптики. Проте закон відбивання світла, який був відомий ще стародавнім грекам, довгий час залишався непоясненим.

В епоху середньовіччя (XI ст.) у фундаментальному постулаті фізика Альгазена стверджувалося, що природне світло і кольорові промені діють на око, оскільки це підтверджувалося больовими відчуттями в ньому. Під природним світлом Альгазен розумів біле сонячне проміння, а під кольоровим – промені, відбиті від кольорових предметів. Також він спростував тлумачення про те, що світло поширюється з очей, та довів, що падаючий і заломлений промені лежать в одній площині із перпендикуляром до точки падіння.

У 1608 році в Голландії було винайдено підзорну трубу, яку пізніше вдосконалив Галілео Галілей та використав для дослідження зоряного неба, зокрема у 1610 р. ним були відкриті супутники Юпітера. Удосконалення мікроскопа та підзорної труби потребувало розвитку вчення не лише про відбиття, а й про заломлення світла (діоптрика). У 1621 р. голландський фізик Снелліус встановив кількісний закон заломлення світла, а Декарт представив у вигляді відомої математичної форми.

Італійський монах Грімальді в 1663 р. уперше спостерігав явища дифракції та інтерференції світла, Бойль та Гук виокремили кольори тонких шарів речовини, а Ньютон кількісно дослідив виникнення інтерференційних кілець. У 1662 р. Бартоліус відкрив явище подвійного променезаломлення, на основі якого Гюйгенсом було відкрито явище поляризації світла, якому він, на жаль, не знайшов пояснення з погляду хвильових уявлень про світло. Вчений також не зміг пояснити причини наявності різних кольорів.

І. Ньютон, базуючись на запропонованій корпускулярній теорії світла, некоректно пояснював відбиття та заломлення світла, яке падає на межу поділу прозорих середовищ. Отже, відповіді на всі ці питання можна було дати лише на основі спеціальних дослідів, які на той час майже не проводилися. Окрім того, в 1717 р. Ньютон довів, що явище поляризації світла можна пояснити лише поперечністю світлових хвиль. У свою чергу Ейлер пояснює різні кольори тіл відмінністю в частоті коливань ефіру.

Поряд із незаперечною та авторитетною думкою Ньютона щодо корпускулярних властивостей світла розвивається хвильова теорія Гука Гюйгенса, який у 1690 р. у «Трактаті про світло» розглянув світло як процес розповсюдження поздовжніх деформацій у певному матеріальному середовищі – світловому ефірі. Вчений запропонував відомий принцип, який згодом був названий на його честь. Ще один принцип, стосовно того, що промені світла розповсюджуються шляхом, який досягає цілі за найкоротший час, сформулював Ферма. Цей принцип згодом був названий на його честь.

Лише на початку XIX ст. почався інтенсивний розвиток математичної теорії коливань та хвиль. У 1801 році Юнг встановив принцип інтерференції, завдяки якому було виявлено кольори тонких плівок. За допомогою дослідів учений виміряв довжину світлової хвилі та довів, що фіолетовим променям харак-

терні менші довжини хвиль, аніж червоним. У 1818 році О. Френель за допомогою хвильових уявлень пояснив явище дифракції. О. Френель та Д. Араго під час спостережень інтерференції поляризованого світла встановили відсутність інтерференції для променів, які поляризовані взаємно перпендикулярно. Юнг назвав це явище поперечністю світлових хвиль, чим підтвердив думку Ньютона. Отже, завдяки дослідженням Гюйгенса, Френеля та Юнга хвильова теорія світла стала загально визнаною.

Однак необхідно було ще встановити природу світлових хвиль. У середині XIX ст. з'являються факти, що вказували на аналогію оптичних та електричних явищ. У 1846 році М. Фарадей спостерігав обертання площини поляризації світла в тілах у зовнішньому магнітному полі. Таким чином, виникло припущення про зв'язок між електромагнітними явищами та світлом. У 1865 році теоретичні дослідження Максвелла щодо розповсюдження електромагнітних хвиль дали змогу стверджувати, що швидкість їх розповсюдження в порожнечі за величиною дорівнює електродинамічній сталій c (експериментально це довели Вебер та Столетов). Саме так було встановлено електромагнітну природу світла.

Класична електромагнітна теорія світла розглядає його як електромагнітну хвилю, тобто можливі розв'язки рівнянь Максвелла, досить вичерпно окреслює розповсюдження світла у вакуумі, а також його інтерференцію та дифракцію. Хвильова теорія світла доповнюється електронною теорією речовини і здатна описати широке коло явищ радіофізики, тобто енергії взаємодії світла з речовиною: поглинання світла, його розсіяння, відбиття, заломлення, дисперсію. У класичній електромагнітній хвилі енергія розподілена в просторі безперервно по всій хвильовій поверхні (хвильовому фронтові), а отже, жодної локалізації, зосередження енергії у довкіллі певної точки простору (на атомі) бути не може.

Учені кінця XIX ст. вважали, що електродинаміка Максвелла є вершиною розвитку теорії і всі досі невідомі фізичні явища можуть бути пояснені саме завдяки їй. Проте практично ніхто не звертав уваги, що теорія Максвелла, як і теорії з інших розділів фізики, стосувалася макросвіту, в якому всі процеси неперервні та на кожну ступінь вільності припадає одна і та ж енергія. Ніхто не очікував, що дослідження, пов'язані з внутрішніми процесами, кардинально змінять спосіб мислення і математичний формалізм.

Першим наріжним каменем виявилось випромінювання нагрітих тіл, названих абсолютно чорними тілами, оскільки вони поглинали всі довжини хвиль випромінювання, що падало на нього. Повна енергія випромінювання залежить від його температури. Залишався невідомим розподіл інтенсивності випромінювання чорного тіла між хвилями різної довжини. Виявилось, що кожна область довжин хвиль характеризується певною інтенсивністю, причому для кожної температури спостерігається свій особливий розподіл, подібний до розподілу молекул за швидкостями. До такої думки дійшли англійські вчені Д. Релей і Д. Джинс, які вважали, що в тілі утворюються стоячі хвилі, на кожну з яких припадає енергія kT . Розрахунки дали неочікуваний результат – енергія повинна була зосереджуватися в короткохвильовій частині спектра, що суперечило

експерименту.

Вихід зі складної ситуації був запропонований німецьким фізиком М. Планком, який замість моделі стоячих хвиль запропонував розглядати тверде тіло як сукупність осциляторів, які є джерелами випромінювання. Однак такий осцилятор повинен володіти енергією, яка строго рівна цілому числу квантів (якщо число квантів рівне нулю, осцилятор повинен перебувати в стані спокою). Кожен квант являє собою ніби елементарний пакет, що дає обмежений внесок в енергію. Енергія планківського кванта залежить лише від однієї величини – частоти випромінювання і розраховується як $E=h\nu$. Постійна Планка h – квант дії і відноситься до фундаментальних фізичних констант. На основі своєї гіпотези Планку вдалося отримати аналітичний вираз випромінювання абсолютно чорного тіла, підтверджений експериментом.

Розвиваючи ідеї М. Планка, А. Ейнштейн припустив, що світло не лише випромінюється, а й поглинається та поширюється в просторі у вигляді певних порцій енергії – квантів світла, які мають певну енергію та імпульс. Таким чином, уявлення про світлові частинки знову відродилися.

Поряд із хвильовою теорією світла почала розвиватися корпускулярна теорія світла, яка трактує його як потік окремих частинок – фотонів (світлових квантів енергії).

У гіпотезі світлових квантів необхідно розрізняти дві сторони, а саме:

1) уявлення про випромінювання як таке, що складається з неподільних квантів енергії, тобто відповідає корпускулярній теорії світла;

2) дискретність елементарних процесів виникнення і перетворення світла.

Ідея про дискретність елементарних процесів взаємодії атомних систем із випромінюванням була розвинута у працях Бора, Зоммерфельда, Нернста [5] і мала вирішальне значення для розвитку теорії атомів і молекул.

Уявлення про корпускулярну структуру самого випромінювання (кванта світла) довго не визнавалося. Скептичне ставлення до ідеї квантів висловив сам Макс Планк у доповіді, прочитаній ним у Німецькому хімічному товаристві 16 грудня 1911 р., тобто через одинадцять років після свого знаменитого повідомлення: «Найпростішим, тобто найнаївнішим поясненням було б приписати атомістичну структуру самій енергії... Таке припущення робив раніше і я сам, однак тепер я відмовився від нього, оскільки вважаю його надто радикальним...» [6].

У 1926 р. Нільс Бор у дослідженні про основні постулати квантової теорії так писав про гіпотезу світлових квантів: «Вона не може розглядатися як задовільний розв'язок, оскільки, саме ця гіпотеза призводить до непереборних труднощів при поясненні явищ інтерференції, що є основним засобом дослідження властивостей випромінювання» [7].

На прикладі цих двох цитат можна звернути увагу учнів на вплив авторитету, в даному випадку безапеляційність висновків класичної фізики, на відомих науковців у підходах до нетрадиційного пояснення фізичних явищ.

З'ясування природи взаємозв'язку між енергією, що її поглинає електрон під час фотоелекту, та енергією падаючого випромінювання $h\nu$ є важливим навчальним завданням. Для цього слід навести

результати досліду з інтерференції і дифракції світла у пучках малої інтенсивності. Досліди засвідчують, що у випадку низьких інтенсивностей, картина, що спостерігається, має дискретну структуру. Власне, це дає підставу припустити, що оптичне й електромагнітне випромінювання поглинається у вигляді окремих порцій. Якщо інтенсивність пучка велика, дискретність у випадку інтерференції і дифракції просто непомітна (не розрізняється).

Отже, пучок випромінювання можна розглядати як сукупність значної кількості дискретних об'єктів. Взаємодіючи з пучком випромінювання, електрон безпосередньо поглинає енергію, яку йому надає лише один такий об'єкт. Реальність полягає не в тому, що електрон вибирає, яку частину пучка йому поглинути, а в тому, що йому передає енергію один з тих об'єктів, які утворюють пучок (енергія останнього визначається частотою хвилі, що йому відповідає).

Таке пояснення виявилось продуктивним, що свідчить про об'єктивну існуючу дискретність електромагнітного випромінювання. Енергія дискретного об'єкта дістала назву *кванта*, а сам об'єкт було названо *фотон*ом (цю назву запропонував Г. Льюїс у 1926 р.). Слід також вказати на експериментальне підтвердження використання квантового характеру електромагнітного випромінювання різних діапазонів (мазер, лазер).

Поняття фотона на перший погляд видається досить простим, однак і сьогодні з ним пов'язано ряд непростих запитань, які можуть виникнути в учнів, і які потребують осмислення.

Фотон – безмасова частинка, здатна існувати у вакуумі, рухаючись зі швидкістю світла. Електричний заряд фотона рівний нулю, він може знаходитися лише у двох спінових станах (орієнтація на зовнішнє поле). Класична електродинаміка описує фотон як електромагнітну хвилю з коловою правою або лівою поляризацією. З погляду класичної квантової механіки, фотону властивий корпускулярно-хвильовий дуалізм. Квантова електродинаміка описує фотон як калібрувальний бозон (спін дорівнює одиниці), який забезпечує електромагнітну взаємодію: віртуальні фотони є квантовими переносниками електромагнітного поля і забезпечують взаємодію між двома електричними зарядами. Фотон – найпоширеніша за чисельністю частинка у Всесвіті: на один нуклон припадає близько 20 мільярдів фотонів (Вікіпедія). Проте як безмасова частинка може брати участь у гравітаційній взаємодії? Електричний заряд дорівнює нулю, але забезпечує взаємодію між електричними зарядами. Як безмасова частинка може мати імпульс? Як безмасова частинка розпадається на електронно-позитронну пару?

Пропонуємо наступні міркування. Розглянемо формулу Ейнштейна для фотона $E=mc^2$, запропоновану в 1905 році, і порівняємо її із формулою

Планка: $h\nu=mc^2$, звідки $m = \frac{h\nu}{c^2}$. При частоті

1 Гц отримаємо, що $h = 6,62 \cdot 10^{34}$ Дж·с. Цій частоті відповідає маса $0,737 \cdot 10^{-50}$ кг. Підрахуємо масу для частоти 10^{20} Гц. Вона дорівнює $0,736 \cdot 10^{-30}$ кг, що майже співпадає з масою електрона. Отже, можна зробити висновок, що маса частинки залежить від частоти і для кожної частоти характерна своя маса.

Так, у підручнику “Фізика. 11 клас” [8] стверджується, що “маса фотона залежить від довжини

хвилі електромагнітного випромінювання: $m = \frac{h\nu}{c^2}$ ”.

Наводяться значення маси фотона видимого і рентгенівського випромінювання. При цьому підкреслюється, що маса фотона рентгенівського випромінювання менша за масу електрона майже у 500 разів.

Якщо припустити, що маса частинки постійна і від частоти не залежить, то змінними повинні бути постійна Планка або швидкість світла, або постійна Планка і швидкість світла. Вважаючи незмінною постійну Планка, швидкість світла залежить від частоти. Дійсно, швидкість світла ми розглядаємо при переміщенні фотона і при цьому не враховуємо, що частинка здійснює поперечні коливання, тобто переміщується по синусоїді. Справедливість формул не порушується, оскільки це стосується відносної швидкості. Абсолютна швидкість частинки по синусоїді залежить від частоти коливання.

Проведемо повний аналіз наведених формул. Запишемо формулу Ейнштейна у вигляді $E=mc^2 = mcv\lambda$, де E – квант енергії, m – маса частинки, v – частота, λ – довжина хвилі. За формулою Планка $E=h\nu$, тому $h\nu=mcv\lambda$ або $h=m\lambda c$. Звідси робимо висновок, що постійна Планка – це імпульс частинки, помножений на довжину хвилі.

Таким чином:

1. Якщо маса частинки постійна і швидкість частинки постійна, то постійна Планка залежить від довжини хвилі і не є постійною.

2. Якщо h і c постійні, то m повинна змінюватися пропорційно довжині хвилі, тобто зі збільшенням довжини хвилі маса зменшується, а при зменшенні довжини хвилі – збільшується. Величина $m\lambda$ повинна бути константою. А чи повинні фотони різної маси мати однакову швидкість? Чи можливо це? Мабуть, так, якщо розглядати швидкість фотона і швидкість нейтрино, а вони рівні. Проте маса фотона може бути рівною масі електрона, але й у нейтрино маси різні. Маса електронного нейтрино відрізняється від маси мюонного і тау-нейтрино. Сам факт збільшення маси зі збільшенням частоти коливань суперечить здоровій логіці. Дійсно, протон і нейтрон повинні коливатися з частотою, яка повинна бути у 2000 разів більшою ніж у електрона, що малоімовірно хоча б тому, що протон і електрон пов'язані між собою магнітною взаємодією.

3. Якщо h і m постійні, то c повинна змінюватися пропорційно довжині хвилі. Зі збільшенням довжини хвилі швидкість зменшується, а при зменшенні – швидкість збільшується, а $c\lambda$ – повинно бути константою. Якщо розуміти, що швидкість руху частинки здійснюється по прямій, то швидкість червоних фотонів повинна відрізнятися від швидкості фіолетових. Проте час поширення фотонів із різною довжиною хвилі однаковий, тому що рух фотона здійснюється не по прямій, а по синусоїді. Рух фотона вздовж осі OX є відносним рухом, а швидкість світла переміщення фотона із точки A в точку B – відносна швидкість. Абсолютна швидкість переміщення фотона по синусоїді більша за відносну і для кожної довжини хвилі або частоти характерна своя швидкість. Вираз $c\lambda$ повинен бути константою, але це не відповідає істині. При зменшенні довжини

хвилі абсолютна швидкість частинки зростає. Якщо $\lambda = 1$, відносна швидкість дорівнює абсолютній, а чи зростає вона у 5 разів, коли довжина хвилі зменшиться у 5 разів? Зміна швидкості і маси частинки здійснюється за іншим законом, який узгоджується і з дуалізмом частинки, і з рухом по синусоїді.

4. Якщо h постійна, то добуток c і m повинен змінюватися пропорційно довжині хвилі, а $mc\lambda$ – бути константою, де mc – імпульс. Проте це не відповідає дійсності, оскільки абсолютна швидкість змінюється кожен $\frac{1}{4}$ періоду від нуля до максимальної і від максимальної до нуля. Маса може змінюватися за наявності прискорення або гальмування.

Чому рух вибрано по синусоїді, а не по спіралі? Якщо розглядати спіральний рух, то це суперечить формулі $E=hc/\lambda$, де частота вказує на те, що частинка переміщується по синусоїді, а не по іншій траєкторії. Рух по гвинтовій лінії не дає уявлень про частоту, а тому стверджувати про кванти проблематично. Такий рух не пояснює поляризацію фотонів і те, чому фотон може рухатися зі швидкістю світла впродовж багатьох світлових років. Синусоїдальний рух дає на це відповіді.

Повернемося до формул М. Планка і А. Ейнштейна. Які частинки на той час були відомі і чому об'єднали ці дві формули? Формула Планка була запропонована в 1900 році, а через п'ять років з'явилася формула Ейнштейна, тобто на той момент були відомі заряд і маса електрона. Скориставшись цими

фактами, розглянемо формули: $E=hc/\lambda$, звідки $\nu = \frac{E}{h}$ і для $E = 1 \text{ eV}$ $\nu = 242 \text{ ТГц}$. Фотон складається із електрон-позитронної пари, тому $E = 2 \text{ eV}$ і $\nu = 484 \text{ ТГц}$. Ця частота є межею червоного і оранжевого кольорів. Розглянемо формулу Ейнштейна $E=mc^2=9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}=81,98 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$. Розрахунки проводилися для однієї частоти для електрона, але результати виявилися різними. Формула Планка є правдоподібною, тому що виводилася для аналізованих частот. Тому, мабуть, Планк усе життя вагався в дискретності кванта і називав його квантом дії [12].

Трактування співвідношення $E=mc^2$ наводиться в [9; 10].

Питання сутності фотона та його характеристик стає все більше дискусійним. З'являються нетрадиційні уявлення про світлові електромагнітні хвилі як носії інформації. У [13] світло розглядається як потік фотонів – особливих частинок, що мають релятивістську масу, але коливаються, завдяки чому до них можна застосувати поняття фази. Таке тлумачення фотона дозволяє авторам зробити висновок, що під час поширення електромагнітної хвилі – потоку фотонів – відбуваються взаємні перетворення енергії поля і маси фотона згідно з рівнянням Ейнштейна $E=mc^2$. Такий висновок, з одного боку, узгоджується з квантовою теорією світла, а з другого – підтверджує наявність у фотона як частинки імпульсу $P=mc$, що проявляється як тиск світла. Зберігаються і хвильові властивості світла, які визначаються наявністю у фотона польових характеристик \vec{E} і \vec{H} , що проявляються у явищах інтерференції і дифракції. У процесі коливань маса фотона, зменшуючись, перетворюється в енергію поля і навпаки – енергія поля перетворюється в

масу фотона. Тобто відбувається перетворення типу енергія – маса – енергія – маса. Двоїстість природи світла – корпускулярна і хвильова – виражається в тому, що фотон представляє собою деяку коливальну систему, в якій відбувається процес періодичного перетворення енергії електромагнітного поля у масу фотона, і навпаки – маса фотона в енергію електромагнітного поля.

Окрім приписаної фотону маси є ще й значно тонші речі, з якими вчитель фізики повинен бути ознайомлений. Так, неможливість сформулювати в термінах величини, які можна хоча б експериментально виміряти, або строго, квантове визначення поняття “фотон” спонукало відомого російського фізика Д. Клишка стверджувати, що саме це поняття є метафізичним [11]. У зв'язку з цим він запропонував виключити його зі складу елементарних частинок, адже число фотонів не є сталим (дійсно, в процесі реєстрації фотона детектором невідомо, скільки фотонів дісталось до детектора). Можна стверджувати, що сучасна квантова електродинаміка і її складова – квантова оптика дійсно не дають підстав для такого сміливого і незаперечного твердження – “світло складається з фотонів”, з яким можна ознайомитися у підручниках та посібниках.

Це не означає, що помилковим і недопустимим є використання елементарного поняття “фотон”. Справді, за його допомогою можна швидко й зрозуміло отримати результати, які без внутрішніх суперечностей описують фундаментальні експерименти (фотоэффект, ефект Комптона), дозволяють пояснити правило Стокса в спектроскопії, квантовий вихід, підійти до розуміння роботи оптичних квантових генераторів тощо. Відомо, що Бозе на основі гіпотези квантів світла створив квантову статистику для частинок із цілим спіном. Небезпека криється у підході до моделювання (фотон як кулька певного розміру, форми і маси). Саме відсутність маси спокою і визначає особливості кванта світла, його «неповноцінність» як частинки. У результаті – фотон не надто схожий на класичний образ елементарної частинки як «маленького м'ячика», для якого можна записати рівняння руху. Але й електрон, який має більше ознак класичної частинки, ніж фотон, теж не є класичним об'єктом, адже поводить себе не за класичними законами ньютонівської динаміки, а підкоряється імовірнісним законам.

Можемо пригадати модель атома Резерфорда–Бора. Ця квазікласична модель, в якій йдеться про електронні орбіти, давно поступилася місцем квантовій механіці 30-х років ХХ ст., але й досі допомагає учням, студентам і дослідникам у ході аналізу різних атомних явищ. Її використання є досить шкідливим, але й вилучення завдало б ще більшої шкоди. Мабуть, у цьому й проявляється прагнення людської думки до простоти з наступним формуванням підходів щодо з'ясування істинності. Зокрема, при переході до глибшого рівня розуміння деякого кола фізичних явищ, попередній рівень втрачає статус концепції, котра ґрунтується безпосередньо на так званих перших принципах і починає вважатися феноменологічним тлумаченням. Так, поняття ейнштейнівського кванта спершу вважалося нісенітницею, згодом було сприйняте науковою спільнотою як елемент “фізичної реальності” і врешті-решт так редукувало, що перейшло у розряд “метафізичної мови”

[11]. Варто зазначити, що знаходження співвідношень між реальним зовнішнім світом, досвідом на основі наших почуттів та понятійним апаратом фізики завжди залишається актуальним питанням у ході наукових досліджень. У будь-якому випадку дослідники змушені вводити поняття інтуїтивного характеру, інакше на певному рівні складності опиняться перед необхідністю звести теоретичну фізику лише до рівнянь без жодної інтерпретації, стверджуючи, наприклад, що “теорія Максвелла – це рівняння Максвелла”, або “квантова механіка – це рівняння Шредингера, Гейзенберга, Дірака тощо”. Насправді ж без використання моделей, забезпечення певного рівня наочності фізичних явищ і процесів не обійтися, особливо розглядаючи надзвичайно складні питання квантових вимірювань.

Учені стверджують, що якби фотони володіли масою, то це призвело б до нестійкості чорних дірок у Всесвіті. Проте спостереження астрономів свідчать про те, що гігантські чорні дірки у центрах галактик обертаються, що доводить відсутність нестійкості. Якщо фотони і володіють масою, то вона повинна бути надзвичайно маленькою – у кілька мільярдів разів меншою за прийняту на сьогодні допустиму масу нейтрино у 2 еВ. Відкриття частинки, подібної до бозона Хіггса (Великий Адронний Коллайдер у ЦЕРНі), дозволить пояснити, як частинки отримують свою масу, а отже, вийти на нове розуміння мікроскопічного світу.

Представлений матеріал може бути використаний як на уроках, так і в позаурочній діяльності (проведення тижнів фізики у школі, факультативів, індивідуальної та гурткової роботи та ін.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Будний Б. Є. Вивчення квантової фізики в школі / Б. Є. Будний. – К., 2004. – 160 с.
2. Бугайов О. І. Вивчення атомної та ядерної фізики в школі / О. І. Бугайов. – К. : Радянська школа, 1982. – 160 с.
3. Сущенко С. С. Вивчення квантових властивостей у школі / С. С. Сущенко, Л. С. Недбаєвська. – Харків : Основа, 2007.
4. Габович О. М. Як у загальноосвітній школі викладати сучасну фізику / О. М. Габович, Н. О. Габович. – Харків : Основа, 2008. – 112 с.
5. Вариационные принципы механики : сб. статей. – М., 1959. – 649 с.
6. Пономарев Л. И. Под знаком кванта / Л. И. Пономарев. – М. : Советская Россия, 1984. – С. 65.
7. Бор Н. Избранные научные труды. Т.1. Статьи 1909-1925 / Н. Бор. – М. : Наука, 2004. – 288 с.
8. Коршак С. В. Фізика. 11 клас / С. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. : Перун, 2004. – 288 с.
9. Окунь Л. Б. Понятие массы (масса, энергия, относительность) / Л. Б. Окунь // УФН. – 1989. – Т.158. – Вып.3. – С.511–530.
10. Малинин А. Н. «Анахронизмы» в учебных пособиях / А. Н. Малинин // Фізика в школі. – 2008. – №5. – С.54–56.
11. Клышко Д. Н. Квантовая оптика: квантовые, классические и метафизические аспекты / Д. Н. Клышко // УФН. – 1994. – №11. – Т.164. – С.1187–1214.
12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://1836.ru/trudno/trudno.htm>.
13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nbuv.gov.ua/j-pdf/rfcs/2003/>.

Дата надходження до редакції: 06.04.2015 р.

УДК 378.14:51:504

Світлана ЦЕЦИК,

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри вищої математики
Національного університету водного господарства
та природокористування

КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЦЕСУ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ЕКОЛОГІВ

У статті зроблено стислий аналіз понять „компетентність” та „компетентнісний підхід”. Виокремлено напрями реалізації компетентнісного підходу до процесу математичної підготовки студентів-екологів.

Ключові слова: компетентність, компетентнісний підхід, математична підготовка, професійна спрямованість, студенти-екологи.

В статье сделан краткий анализ понятий „компетентность” и „компетентностный подход”. Выделены направления реализации компетентностного подхода к процессу математической подготовки студентов-экологов.

Ключевые слова: компетентность, компетентностный подход, математическая подготовка, профессиональная направленность, студенты-экологи.