

- механізація впровадження". – К.: АПН України, 1997. – С. 56-59.
7. Принципи та шляхи інтеграції вищих навчальних закладів Міністерства аграрної політики України в Європейський простір вищої освіти: Науково-методичні матеріали / Іщенко Т.Д., Кравченко С.М., Демешкант М.А., Шинкарук В.Д., Бабін Т.І., Кравченко Ю.С., Бендера І.М., Завірюха П.Д.; За ред. С.М. Кравченка. – К.: Аграрна наука, 2006. – 35 с.
 8. Чернилевский Д.В., Филатов О.К. Технология обучения в высшей школе. Учебное издание / Под ред. Д.В.Чернилевского. – М.: Экспедитор, 1996. – 228 с.
 9. Козаков В.А. Самостоятельная работа студентов и ее информационно-методическое обеспечение. – К., Высшая школа. – 1990. – 497 с.
 10. Солдатенко М.М. Умови індивідуалізації процесу навчання студентів в системі безперервної освіти // Мат-ли конф. – Вінниця, 1994. – С. 73-75.
 11. Бендера І.М. Організація самостійної роботи студентів аграрно-інженерних спеціальностей: Монографія / Наук. метод. центр аграрної освіти. – К., 2007. – 364 с.
 12. Дуганець В.І., Бендера І.М., Рудь А.В., Янковський В.А., Шовдра О.М. Організація наскрізної практичної підготовки студентів із спеціальності «Механізація сільського господарства» // Наука і методика: Збірник науково-методичних праць / Редколегія: А.Ф. Бойчук (гол. ред.). та ін. – К.: Аграрна освіта, 2007. – Вип. 9. – С. 65-74.

In the article the analysis of problems and prospects of the practical teaching of students of agroengineering direction is resulted and the basic methods of complex approach are grounded for fixing of the got theoretical knowledge students during teaching taking into account the features of leadthrough of educational practices in the institute of mechanization and electrification of agriculture of on territory educational-practical polygon from a management cars, tractors, combines and machine-tractors aggregates.

Key words: management, profession, complex mashin-notraktorni aggregates, agricultural machines, practical skills, orders, orders.

Отримано: 31.08.2009

УДК 372.853

О. В. Козленко, М. Г. Лисенко, О. В. Матвійчук
Національний технічний університет України "КПІ"

ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ КОРПУСКУЛЯРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СВІТЛА В ПІДРУЧНИКАХ ФІЗИКИ

В роботі вивчається стан висвітлення теми "Фотон" в підручниках з загальної фізики (в тому числі навчальних посібниках). Аналіз понад 30 підручників показує, що в більшості з них корпускула світла (фотон) представлена утворенням, локалізованим в нескінченно малому об'ємі (матеріальною точкою), і повністю ототожнюється з квантовою частинкою. Положення фотона в просторі на основі цієї моделі описується імовірнісними законами. Такий стан суперечить квантовій теорії. Стисло приведено висновки квантової теорії Дірака. Згідно з теорією фотон являє собою дискретне (квантоване) значення енергії електромагнітного поля, займаючи об'єм, в якому існує поле. Тому широко вживане в підручниках поняття ймовірності знаходження фотона в заданій точці простору некоректне. Квантова теорія усуває, також, відоме протиріччя корпускулярного та хвильового підходу при вивченні електромагнітних коливань.

Ключові слова: фотон, квантова теорія

1. В роботі проаналізовано понад 30 підручників загальної фізики (в тому числі навчальних посібників) на предмет висвітлення теми "Корпускулярні властивості електромагнітного поля, фотон" (назва узагальнена). Останні видання підручників свідчать про незадовільний стан представлення в них цієї теми. Висвітлення зупинилось на рівні розвитку науки двадцятих років минулого століття. Подальший, після двадцятих років розвиток фізичної науки, по-перше, підтвердив новими дослідженнями корпускулярні властивості електромагнітного випромінювання, по-друге, значно розвинув теорію фотона. Це широко представлено в підручниках квантової механіки та квантової електродинаміки. Як підсумок, мають місце розбіжності в викладанні. На старших курсах вищих учбових закладів при вивченні квантової механіки трактування поняття "фотон" принципово відрізняється від поняття, одержаного в школі та на молодших курсах при вивченні загальної фізики, таким чином має місце порушення наступності у вивченні теми.

В зв'язку з тим, що сучасна квантова теорія фотона не представлена ні в одному з підручників загальної фізики, ми розглянемо спочатку висновки теорії, потім проведемо порівняльний аналіз викладання теми в підручниках і навчальних посібниках.

2. Зупинимось на висновках сучасної квантової теорії корпускулярних властивостей електромагнітного поля. Зручно розглянути основні висновки вчення про фотон в історичному розвитку тому, що розбіжності в викладанні зв'язані саме з історією розвитку вчення про фотон. Тому стисло розглядаємо розвиток теми виходячи з дат перших публікацій результатів.

Рік 1905 – А.Ейнштейн успішно пояснює основні властивості фотоефекту на основі поняття "квант світла" (корпускула світла). Запропонована модель успішно пояснює основні властивості фотоефекту, але вступає в протиріччя з хвильовою теорією. Більшість відомих фізиків того часу, в тому числі, Нобелівські лауреати М.Планк та В.Він, заперечували існування корпускулярних властивостей світла. Основним

аргументом для заперечення висувалась досконалість теорії електромагнітних хвиль Максвелла. Далі ми побачимо, що в цьому опоненти А. Ейнштейна частково мали рацію, при цьому справедливо вважати, що гіпотеза А.Ейнштейна випередила свій час. Як доказ несправедливості теорії квантування світла, наприклад, в Вікіпедії [6] наведені посилання на експеримент з дифракції світла з енергією одного фотона (1907 р.). Додамо також, що пізніше квантова теорія підтвердила формулу Ейнштейна для фотоефекту без використання корпускулярних властивостей світла (напр., [9]), а потім теоретично обґрунтувала його гіпотезу, виходячи з нових позицій. Стан невизнання корпускулярних властивостей світла існував до 1923 р.

Рік 1923 – А.Комптон публікує результати своїх відомих експериментів з розсіювання рентгенівського випромінювання на речовині. Хвильова теорія не може пояснити зміну довжини розсіяної хвилі. Корпускулярна теорія електромагнітного випромінювання це пояснює блискуче: досліди і теорія.

Рік 1924 – Л. де Бройль пропонує гіпотезу про хвильові властивості корпускул і це повністю підтверджується дослідями. Очевидно що, гіпотеза де Бройля є творчим продовженням гіпотези Ейнштейна.

Рік 1926 – виникнення назви "фотон" (Г.Льюїс). Е.Шредінгер дотримуючись гіпотези де Бройля формулює хвильове рівняння для описання руху мікрочастинок, М.Борн встановлює зв'язок хвильових властивостей з імовірнісним характером руху корпускул (статистична інтерпретація хвильової функції). Бурхливо розвивається квантова механіка – наука, як відомо, базується на хвильових властивостях корпускул. На цій основі робиться спроба узгодити корпускулярні властивості світла з хвильовими і, як наслідок, формулюється концепція корпускулярно-хвильового дуалізму: повна тотожність хвильових та корпускулярних властивостей корпускул та електромагнітного поля. Згідно з положеннями корпускулярно-хвильового дуалізму, фотон вважається утворенням, енергія якого ско-

нцентрована в малому об'ємі простору: “дробинкою”, за висловленням Борна. Положення фотона в просторі підлягає імовірнісним законам, густина енергії електромагнітного поля в заданій точці вважається пропорційною концентрації фотонів в цій точці. Саме ця модель фотона найширше представлена в підручниках загальної фізики.

Рік 1927 – подолати протиріччя між квантовими та хвильовими властивостями світла вдалося англійському фізику П. Діраку. До електромагнітного поля Дірак застосував математичний апарат квантової механіки, який на той час уже був достатньо розвинений. Згідно з теорією Релея-Джінса, Дірак розглядає поле в вигляді нескінченної кількості стоячих електромагнітних хвиль в певному об'ємі (резонаторі) [19]. Електромагнітне поле ставиться у відповідність механічній системі. Набір стоячих хвиль еквівалентний набору осциляторів, які описуються в класичній механіці узагальненими координатами. Сукупність осциляторів представляє собою нескінченну кількість ступенів свободи, енергія поля розподіляється по ступенях свободи (осциляторах). Використавши розрахунковий апарат квантової механіки, Дірак замінив узагальнені координати класичної механіки відповідними квантово-механічними операторами (принцип відповідності), одержав та розв'язав рівняння Шредингера для електромагнітних коливань. На основі розв'язку знайдено хвильові функції та енергію осциляторів. Наведемо одержану формулу для повної енергії електромагнітного поля E :

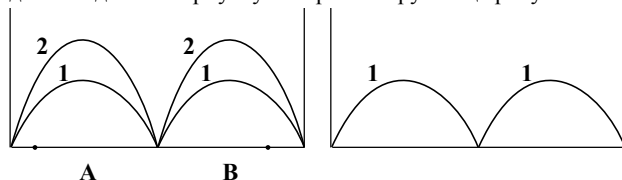
$$E = \sum_{k=1}^{\infty} nhv_k + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} hv_k \quad (1)$$

де h – стала Планка, v_k – власна частота коливань k -того осцилятора, hv_k – квант енергії, n_k – ціле додатне число, дорівнює кількості квантів енергії осцилятора.

Теорію Дірака називають також квантовою теорією електромагнітного поля (фотона).

3.1. Розглянемо першу суму рівняння (1). Ця сума обґрунтовує ідею Ейнштейна про корпускулярні властивості електромагнітних коливань. Осцилятор приймає тільки дискретні значення енергії – кванти енергії, пропорційні частоті. Кількість квантів залежить від ступеня збудження осцилятора. Наприклад, в абсолютно чорному тілі розподіл квантів енергії по осциляторах підлягає розподілу Больцмана і з рівняння енергії (1) легко одержати формулу Планка. Сам факт дискретизації енергії стоячих хвиль цілком заслужено називають гіпотезою Ейнштейна [35]. Як відомо, електромагнітне поле в класичній електродинаміці має енергію та імпульс, але для поля, що квантується, енергія приймає дискретні значення; автоматично, дискретизується і імпульс.

Зупинимось на відмінностях теорії Дірака з попередніми теоріями. Згідно з теорією Дірака енергія фотона не концентрована в певній точці простору (не матеріальна точка), фотон розподілений по всьому об'єму, в якому існує електромагнітне поле; фотони “розмішані” в просторі тому, що в будь-якій точці існують коливання всіх без винятку стоячих хвиль. Спостерігати існування фотона можливо при взаємодії фотона з корпускулою лише в тій точці, де знаходиться корпускула. Проілюструємо це рисунком.



На рисунку ліворуч схематично зображено розподіл квадрата напруженості електричного поля вздовж одного з напрямків (горизонтальна пряма), нехай в цьому напрямку вкладається одна довжина хвилі і енергія цієї стоячої хвилі дорівнює двом фотонам; лінія 2 відповідає двом фотонам, лінія 1 – одному. Нехай в точці A знаходиться об'єкт, що поглинає один фотон. Згідно з теорією Дірака поглинання відбувається зі всього об'єму, в якому знаходиться електромагнітне поле, в тому числі, з точки B . В результаті після поглинання залишається один фотон, якому відповідає

лінія 1 (рисунок праворуч). Відносно взаємодії з об'єктом, то ймовірність взаємодії в заданій точці простору пропорційна густині енергії електромагнітного поля в цій точці, але поглинання відбувається зі всього об'єму. Якщо об'єкт знаходиться в вузлі стоячої хвилі, ймовірність поглинання дорівнює нулю. Звертаємо також увагу на те, що вузол стоячої хвилі ділить фотон на частини (дві в нашому випадку), а поглинається, або збуджується фотон, як єдине ціле.

При поясненні інтерференції та дифракції світла, наприклад, в досліді Юнга, згідно з квантовою теорією фотон може проходити одночасно через обидві щілини. Це можна представити таким чином. Джерело світла, наприклад, вихідне дзеркало лазера, екран з двома щілинами та екран для спостереження утворюють резонатор, в якому створюються стоячі хвилі. Втрати енергії резонатора компенсуються джерелом світла. Кожна стояча хвиля i , відповідно, кожен фотон знаходяться в усіх точках резонатора, в тому числі, в обох щілинах. Іншими словами, електромагнітні хвилі – це перш за все хвилі, квантові властивості проявляються при взаємодії з речовиною. Особливо проявляється різниця між фотоном та корпускулою при переході до макроскопічної теорії. Квантовій корпускулі в макроскопічній теорії ставиться в відповідність мікрочастинка, яка рухається по класичній траєкторії; фотону в класичній фізиці відповідає необмежена в просторі та часі плоска монохроматична хвиля.

Розрахунки теорії Дірака підтверджують теорію Ейнштейна для фотоэффекту та теорію Комптона, але з позицій квантової механіки; розрахунки пояснюють також інші досліди по взаємодії світла з речовиною не вступаючи в протиріччя з хвильовою теорією.

3.2. Паралельно з теорією Дірака до аналогічних висновків приводить і співвідношення невизначеностей для фотона [35]. Фізичний зміст співвідношення для фотонів, вірніше, для електромагнітних хвиль, принципово відрізняється від фізичного змісту для квантових частинок. Як відомо, співвідношення невизначеностей – співвідношення Гейзенберга – в квантовій механіці введено для квантових частинок і є наслідком хвильових властивостей корпускул; невизначеність притаманна перш за все коливному (хвильовому) руху. Дійсно, для коливань неможливо точно визначити частоту за нескінченно малий проміжок часу. При переході до координати x та довжини хвилі λ для електромагнітних хвиль співвідношення визначає взаємозв'язок відстані на якій вимірюється довжина хвилі з точністю її вимірювання. Математично співвідношення має вигляд:

$$\Delta x \cdot \Delta \lambda \geq \frac{\lambda^2}{4\pi}, \quad \Delta x \cdot \Delta \nu = \frac{c}{4\pi}, \quad (2)$$

де Δx , $\Delta \lambda$, $\Delta \nu$ – невизначеність координати, довжини хвилі та частоти; c – швидкість світла.

Порівняємо співвідношення для фотона зі співвідношенням для корпускул. Для квантових частинок співвідношення пов'язано з точністю одночасного визначення координати та імпульсу частинки (матеріальної точки). Корпускула має хвильові властивості, але неможливо представити її в вигляді утворення з хвиль. Вона представляє собою утворення, обмежене в просторі з імовірнісним характером знаходження в тій, або іншій точці. Численні досліди підтверджують обмеження корпускули в просторі і найпростішою її моделлю є матеріальна точка.

Щодо фотона, то таке трактування хибне. Для електромагнітної хвилі співвідношення не пов'язане з квантовими властивостями: це властивість хвильового руху. Незалежність від квантових властивостей співвідношення математично підтверджується відсутністю сталої Планка в формулах (2). Автоматично, співвідношення переноситься на квант енергії (на фотон). При поширенні плоскої хвилі в напрямку x , енергія фотона i , відповідно, довжина хвилі, або частота визначені точно – фотон має бути розподіленим по нескінченному об'єму. Якщо мова йде про замкнений об'єм, то трактується співвідношення, як мінімальне значення відстані, на якій можлива стояча хвиля заданої довжини (частоти) i , відповідно, можливість існування осцилятора з заданою довжиною хвилі на такій відстані. Ко-

жна стояча хвиля заданої довжини (кожен осцилятор) може містити в собі нескінченну кількість фотонів в залежності від енергії (або амплітуди коливань). Не існує дослідного підтвердження подібності фотона до матеріальної точки і, як відзначалось, спостерігається фотон лише тоді, коли поглинається корпускулою. Виходячи з цього, логічно вважати розподіл енергії фотона в просторі неперервним, навіть, якщо не зважати на теорію Дірака. В згаданих дослідях Юнга розмір однієї щілини, або відстань між ними завжди менші за “розмір” електромагнітної хвилі, і фотон не може проходити тільки через одну із щілин.

3.3. Повернемося до формули (1) і розглянемо другу суму. Це сума дискретних енергій, так званих, “нульових коливань”. Нехай, зовнішні джерела збудження коливань відсутні, тобто $n = 0$ для кожного осцилятора, тоді перша сума теж дорівнює нулю. Як показує друга сума, кожен осцилятор здійснює коливання, яке завжди існує. Енергія “вічного коливання” одного осцилятора дорівнює половині енергії фотона. Число осциляторів нескінченне, в результаті, нескінченна сумарна енергія нульових коливань. Сам факт нескінченності сумарної енергії не є чимось особливим тому, що енергія обчислюється з точністю до сталої. При описі взаємодії випромінювання з речовиною визначається різниця енергій, друга сума в різниці скорочується, тому в теорії енергія нульових коливань була взята за початок відліку і не враховувалась. Але з’явилися нові досліді, для пояснення яких використовуються нульові коливання. Відзначимо, що попередні теорії електромагнітних хвиль не передбачають нульових коливань і пояснити нові досліді нездатні. Стисло зупинимось на результатах цих дослідів.

У.Хаустон в 1934 р. спостерігав в серії Бальмера для атома водню незначну зміну довжин хвиль випромінювання порівняно з теоретичними передбаченнями. Недостатня точність тогочасної виміральної техніки не давала можливості достовірно встановити сам факт зміни довжини хвилі та виміряти його. Повна достовірність одержана в 1947 р. в дослідях В.Лемба та Р.Резерфорда. Радіофізичними методами стимульовано прямий перехід між рівнями енергії $2S$ та $2P$ атома водню і виміряна енергетична відстань між ними, на той час відповідно до існуючої теорії енергія цих рівнів повинна була б співпадати. Виміряна різниця енергій відповідає частоті 1057 МГц. Це розчеплення рівнів називається лембівським зсувом. Вичерпне теоретичне пояснення зсуву дав Г.Бете [19]. Згідно з його теорією, на рух електрона по орбіті накладається додатково хаотичний рух електрона під дією флуктуацій електромагнітного поля нульових коливань. В результаті зміщується рівень енергії $2S$; положення рівня $2P$ при цьому майже не змінюється. Теоретичне значення частотного зміщення між рівнями з великою точністю близьке до вимірюного, в зв’язку з цим, теорію лембівського зсуву логічно вважати правильною. Таким чином, досліді та їх пояснення підтверджують існування нульових коливань, що одночасно є підтвердженням правильності теорії фотона Дірака. На основі теорії нульових коливань будується також теорія фізичного вакууму.

4.1. Проаналізувавши підручники і посібники з фізики для загальноосвітньої та вищої школи ми умовно поділили їх на дві групи за роком видання: перша група – видання до 1990 р. [5, 14, 20, 22–24, 27, 28, 32–35]; друга – видання після 1990 р. [1–4, 6–8, 10–13, 15–18, 21, 25, 26, 29–31]. Основою для поділу взято час публікацій теорії Дірака для фотона в науковому журналі в 1927 р. і в наукових виданнях в 1956 та 1959 рр. [19]. В підручники з квантової механіки теорію включено на початку шістдесятих років [9, 19].

4.2. Розгляд підручників минулих років почнемо з атомної фізики Макса Борна [34] та Е.Шпольського [32], які найбільше вплинули на стан висвітлення теми в загальній фізиці. Ці видання вперше з’явилися в 1933 та 1944 р. та неодноразово перевидавалися. В них фотон повністю ототожнюється з квантовою корпускулою. Додамо до викладеного посилання [34] на досліді Мейера-Герлаха по фотоелекту на дрібних металічних крупинках. Незрозумілим для хвильової теорії був той факт, що фотоелектрони з’являлись безпосередньо після вмикання світла. Відповід-

но до хвильової теорії розподіл енергії падаючої хвилі має бути рівномірним по об’єму металічної крупинки і накопичення енергії для виконання електроном роботи виходу повинно тривати декілька секунд. Тому при поясненні фотоелекту хвильова теорія відхиляється, а світловий потік розглядається, як рух дробинки із сконцентрованою в них енергією. Таке недосконале трактування сформульовано на початку розвитку сучасної квантової теорії. В подальшому, квантова механіка змогла пояснити фотоелект, використовуючи тільки хвильові властивості світла. В квантовій механіці обчислюється ймовірність переходів електрона між рівнями енергії атома. При обчисленні в теоретичну формулу входить векторний потенціал електромагнітного поля, не обов’язково квантований. Фотоелект в теорії розглядається, як перехід електрона з дискретного рівня в область неперервного спектру. Формула Ейнштейна при цьому є наслідком хвильових властивостей корпускул, а не корпускулярних властивостей світла. Паралельно існує строге пояснення фотоелекту з точки зору корпускулярної теорії світла на основі теорії Дірака. Зазначимо, що при переході до класичного наближення фотоелект еквівалентний резонансному поглинанню світла високо добротного коливного системою, здатною накопичити достатню енергію за короткий час.

В підручнику Борна [34] згадується одним реченням теорія Дірака і тривимірність фотона (не матеріальна точка), як “...чисто абстрактну концепцію”. Таке відношення пояснюється незвичністю теорії Дірака для сучасників і відсутністю дослідів для її підтвердження.

В [32] додатково до викладеного вивчаються флуктуації фотонів, які повністю ототожнюються з флуктуаціями молекул ідеального газу. При вивченні не враховується існуюча між ними різниця. Наприклад, молекули ідеального газу взаємодіють при зіткненнях, а фотони безпосередньо між собою не взаємодіють. Додамо також, що флуктуації електромагнітного поля легко описуються в рамках хвильової теорії.

Викладена точка зору в більшому, або меншому обсязі повторюється в [3, 5, 10, 13, 14, 20–24, 29, 33] та переноситься в [1, 2, 4, 7, 8, 11, 12, 15–18, 25, 26, 30, 31]. Зупинимось на відхиленнях від узагальненої точки зору деяких з них. Так в [14] підкреслюються труднощі поєднання корпускулярних та хвильових властивостей фотона-дробинки. В підручниках для вищої [22, 23] та середньої [21] школи справедливо стверджується той факт, що корпускулярні властивості фотона проявляються при взаємодії з речовиною, а хвильові – в явищах інтерференції та дифракції. Але при цьому автори не відходять від моделі фотона – дробинки.

Як фізичний об’єкт, зв’язаний з електромагнітним випромінюванням, з енергією $E = h\nu$, дано визначення фотона в [20]. Це правильно, але визначення носить не конкретний характер. Далі стверджується неприйнятним представлення фотона в вигляді деякого, розподіленого в просторі об’єкта і неможливість розглядати фотон в вигляді “...просторової області, заповненої електромагнітним полем...”. Стверджується також неможливість співставлення фотону напруженість електричного поля, яким характеризується світлова хвиля. Таке твердження діаметрально протилежне теорії Дірака, згідно з якою фотон існує в просторі, де знаходиться поле. В протилежність [20], в фізичній теорії є багато прикладів обчислення напруженості електричного поля, виходячи з енергії фотона [19].

В підручнику [24] представлено фотон, як “цуг” хвиль. Це неправильно з декількох причин. Назвемо лише те, що “цуг” характеризується спектром частот, в той час, як частота фотона має тільки одне фіксоване значення. Відзначимо, що в цьому є і раціональне зерно: фотон не вважається матеріальною точкою.

Великий інтерес представляє точка зору Р.Фейнмана, в його підручниках [27, 28] розглянута коротко, але із висвітлення впливає очевидна схильність до концепції фотона Дірака. Потік електромагнітної енергії представляється, як потік фотонів, що не вступає в протиріччя з теорією Дірака; крім того, для знаходження інтенсивності світла розглядається “...окремий фотон, що падає, характеризується певною амплітудою попадання...”, а не ймовірністю,

як це повинно виходити з теорії корпускулярно-хвильового дуалізму. Модель фотона в вигляді дробинки не згадується.

4.3. Розглянемо стан висвітлення теми в сучасних виданнях [1–4, 6–8, 10–13, 15–18, 21, 25, 26, 29–31]. В основному, ми аналізуємо українські видання. Прочитуємо визначення фотона із підручника [8]: фотон – квант енергії електромагнітного поля. Таке визначення правильне, але для розуміння потрібні детальніші пояснення. В виданнях [1, 2, 4, 7, 8, 11, 15–18, 26, 30] фотон розглядається стисло; в усіх без винятку виданнях явно, або неявно фотон представлено локалізованою частинкою (дробинкою).

В [4, 7, 11] викладення відбиває загальний стан і вторить розглянутим виданням минулих років, але тема викладена ширше, тому зупинимось на них. Наголосимо, як позитивний факт, що вперше серед усіх підручників загальної фізики, в виданні [11] вивчається співвідношення невизначеностей для фотона. При розгляді співвідношення для фотона використана формула Гейзенберга та її трактування для корпускул: неможливість одночасного визначення координат та імпульсу. При цьому, також як і для корпускул, фотон представлений в вигляді хвильового пакета, тобто повторюється помилка з [24]. Пояснимо це. Пакет хвиль аналогічно з “цугом” хвиль має спектр частот і, відповідно, спектр енергій, а фотон за визначенням має фіксовану частоту та енергію. Далі при переході до інтерференції та дифракції фотон ототожнюється з квантовою частинкою. Продемонструємо це цитуючи з [4, 7]: “...квадрат амплітуди світлової хвилі визначає ймовірність попадання фотона в дану точку поверхні, точніше – ймовірність знаходження фотона в об’ємі dV простору, що включає точку, яку розглядають...”.

Наведені твердження вступає в протиріччя з теорією [19]. В теорії спеціально для такого випадку доведено, що фотон не може концентруватись в нескінченно малому об’ємі. Квантова електродинаміка доводить, що напруженості електричного та магнітного полів для фотона-дробинки повинні прямувати до нескінченності в самому фотоні і дорівнювати нулю в точках, де фотон відсутній. Такий розподіл веде до порушення закону збереження енергії. Якщо для квантової частинки можливе обчислення середнього значення координати, то для фотона таке обчислення некоректне і, відповідно, поняття про ймовірність знаходження фотона в тій, або іншій точці простору теж некоректне. Крім того, безпосередньо для світлової хвилі поняття амплітуди не визначено; скоріше всього, мова йде про амплітуду напруженості поля (електричного та магнітного).

Для порівняння розглянемо висвітлення теми в підручнику американських авторів [25], нещодавно перекладеному на російську. В ньому спостерігається така ж схильність розглядати фотон в вигляді матеріальної точки. Наприклад, в задачі з визначення кількості фотонів, що падають на одиницю площі поверхні; задача широко представлена і в українських виданнях. Виходячи з того, що кожен фотон розподілений по всій поверхні, в такій постановці задача невірна. Постановка буде правильною, якщо мова йтиме про взаємодію електромагнітної хвилі з речовиною. Для об’єктів, що поглинають (випромінюють) світло, розміщених на поверхні, дійсно, одиниця площі поверхні поглинає (випромінює) певну кількість фотонів.

5. Підведемо підсумки.

5.1. В розглянутих підручниках загальної фізики наведені правильні пояснення основних властивостей фотоэффекту та інших дослідів по взаємодії світла з речовиною, виходячи з корпускулярних властивостей світла. Але самі корпускулярні властивості трактуються невірно. Корпускула світла (фотон) при узагальненнях повністю ототожнюється з квантовою частинкою, локалізованою в просторі: корпускулярно-хвильовий дуалізм. Побудована на цій основі теорія вступає в протиріччя з хвильовою теорією світла і не здатна пояснити дослід Лемба-Резерфорда.

Ні один з підручників не розглядає квантову теорію електромагнітного поля Дірака, або її висновки, хоча квантова теорія фотона розвиває попередні теорії і вважається правильною в фізичній науці. Також не згадується в підручниках альтернативна теорія фотоэффекту в квантовій механіці на основі хвильових властивостей світла.

5.2. На протипагу до викладеного, теорія Дірака розглядає електромагнітне поле, як неперервне в просторі – природна властивість хвильового руху. Квантується лише енергія: фотон – квант енергії електромагнітного поля. Таким чином, узгоджуються корпускулярні властивості світла з хвильовими. Квантова теорія електромагнітного поля Дірака успішно пояснює дослід Лемба-Резерфорда. Решта дослідів по взаємодії світла з речовиною пояснюються квантовою теорією Дірака паралельно з хвильовою. Квантово-механічний та хвильовий підходи підтверджують формулу Ейнштейна для фотоэффекту.

5.3. Виникає необхідність переосмислення корпускулярно-хвильового дуалізму з урахуванням результатів квантової теорії електромагнітного поля. Згідно з теорією, фотони знаходяться в об’ємі, який займає електромагнітне поле. Буквальне розуміння фотона в вигляді локалізованої корпускули неприйнятне. Як наслідок, поняття імовірності знаходження фотона в заданій точці простору некоректне.

Список використаних джерел:

1. Андріяшик М.В., Вербицький Б.І., Король А.М. Курс фізики: модульно-рейтингова система навчання: підручник для студ. техн. навч. закл. – К.: Фламенко, 2008. – 530 с.
2. Барановський В.М., Черенков О.В. Загальна фізика: Курс лекцій: Навч. посіб. для студ. інж.-техн. спец. вищ. навч. закл. / Європейський ун-т / Валерій Михайлович Барановський (заг. ред.). – Ч. 3. – К.: Видавництво Європейського університету, 2004. – 204 с.
3. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика: Учеб. пособие: В 3 кн. – М.: Физматлит, 2001. – (Для углубленного изучения). Кн. 2 : Электродинамика. Оптика. – 336 с.
4. Бушок Г.Ф., Венгер С.Ф. Курс фізики: Навч. посібник для студ. фіз.-мат. спец. вищ. пед. навч. закладів: У 2 кн. – К.: Либідь, 1997. – Кн. 2: Оптика; Фізика атома і атомного ядра; Молекулярна фізика і термодинаміка. – 421 с.
5. Вихман Э. Квантовая физика: Учеб. руководство; Пер. с англ. / Под ред. А.И. Шальникова и А.О. Вайсенберга. – 3-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – (Берклеевский курс физики)– 392 с.
6. Вікіпедія, тема “Фотон” <http://ru.wikipedia.org/wiki/Фотон>
7. Воловик П.М. Фізика для університетів: повний курс в одному томі. – К.; Ірпінь : Перун, 2005. – 864 с.
8. 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.
9. Давыдов А.С. Квантовая механика. Изд. 2-е, испр. и перераб. – М.: Наука, 1973. – 703 с.
10. Детлаф А.А., Яворский Б. М. Курс физики: Учеб. пособие для студ. высших техн. учеб. заведений. – 4 изд., испр. – М.: Издательский центр "Академия", 2003. – 720 с.
11. Зачек І.Р., Кравчук І.М., Раманишин Б.М., Габа В.М., Гончар Ф.М. Курс фізики: Навчальний підручник. – Львів: Видавництво “Бескид-Біт”, 2002 – 376 с.
12. Иродов И. Е. Квантовая физика: Основные законы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 271 с.
13. Кабардин О.Ф. Физика: справ. матеріали: Учеб. пособие для учащихся. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Просвещение, 1991. – 367 с.
14. Китайгородский А.И. Введение в физику. – М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1973. – 688 с.
15. Корочкина Л. Н. Физика / Европейский ун-т. – К.: Издательство Европейского университета, 2006. – 217 с.
16. Коршак Є.В. та ін. Фізика, 11 кл.: Підруч. для загальноосвіт. навч. закл. / Є.В. Коршак, О.І. Ляшенко, В.Ф. Савченко. – К.; Ірпінь: ВТФ “Перун”, 2004. – 288 с.
17. Куліш В.В., Соловійов А.М., Кузнецова О.Я., Куліщенко В.М. Фізика для інженерних спеціальностей. Кредитно-модульна система: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів: У 2 ч. – Ч. 2. – К.: НАУ, 2004. – 380 с.
18. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: У 3 т.: Навч. посіб. для студ. вищ. техн. і пед. закл. освіти / За ред. І.М.Кучерука. – К.: Техніка, 1999. – Ч.3. – С. 247.
19. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики, т. 2. – М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1962. – 820 с.

20. Матвеев А.Н. Атомная физика: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 432 с.
21. Мякішев Г.Я., Буховцев Б.Б. Фізика: Підруч. для 11 кл. серед. шк. – 2-ге вид. – К.: Освіта, 1993. – 272 с.: іл., с.184.
22. Сивухин Д.В. Оптика: Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985 – 752 с.
23. Сивухин Д.В. Атомная и ядерная физика: Учеб. пособие. В 2-х ч. Ч.1. Атомная физика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986 – 416 с.
24. Спроул Р. Современная физика. Изд. второе, переработанное / Перевод с англ., под ред. В.И.Когана. Серия «Физико-математическая библиотека инженера», Глав. ред. физ.-мат. лит. изд. «Наука». – М., 1974. – 592 с.
25. Типлер П.А., Ллуэлин Р.А. Современная физика: в 2 т.: пер. с англ. – М.: Мир, 2007. – Т. 1. – 494 с.
26. Троицкая В.В., Цапко Т. П. Фізика: Учебник для студ. вузов / Национальний фармацевтичний ун-т. Ч. 2. – Х. : Издательство НФаУ "Золотые страницы", 2006. – 216 с.
27. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, Т.3. Излучение. Волны. Кванты. – М.: Издательство "Мир", 1976. – 496 с.
28. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, Т.9. Квантовая механика. – М.: Издательство "Мир", 1976. – 528 с.
29. Фриш, С.Э. Курс общей физики (Классическая учебная литература по физике): Учебник: в 3 т. Т. 3. Оптика. Атомная физика / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. – Изд. 8-е, стереотип. – СПб.: Лань, 2006. – 648 с.
30. Чолпан П.П. Фізика: Підручник для студ. природничих ф-тів ун-тів і пед. ін-тів. – К.: Вища школа, 2003. – 567 с.
31. Шкилько А.М., Рудакова Г.А. Фізика: Учеб. пособие / Украинская инженерно-педагогическая академия. – Х. : УИПА, 2005. – 428 с.
32. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т. 1. Введение в атомную физику. – М.: Наука, 1974. – 576 с.
33. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Т. 2. Электродинамика колебания и волны основы квантовой физики атомов, молекул и твердых тел физика ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1972. – 732 с.
34. Max Born. Atomic physics. Blackie and son limited, London-Glasgow, 1963-490 p. / Перекл.: Макс Борн. Атомная физика. – М.: Мир, 1965. – 484 с.
35. Pantell R.H., Puthoff H.G. Fundamentals of quantum electromagnetics. John Willey inc, N.Y., 1969 – 380 p. / Перекл.: Р. Пантел, Г. Путгоф. Основы квантовой электроники. – М.: Мир, 1972 – 384 с.

The state of delivering the "Photon" theme in general physics textbooks (including tutorials) is investigated in the paper. The analysis of more than 30 textbooks shows that in majority of them the light corpuscle (photon) is represented as the formation being localized in infinitely small volume (mass point) and is fully identified as the quantum particle. The photon position in the space on the base of this model is described by probability laws. Such condition contradicts to quantum theory. The conclusions of Dirac's theory are given briefly. According to theory the photon is a discrete (quantized) value of electromagnetic field energy, occupying the volume where the field exists. Therefore, the wide application in textbooks of such meaning as the probability of photon occurrence in the space given point is incorrect. Quantum theory also eliminates the known conflict between corpuscular and wave approach while studying electromagnetic oscillations.

Key words: photon, quantum theory.

Отримано: 1.09.2009

УДК 373.167.1

А. А. Криськов, Ц. А. Криськов, О. М. Рачковський

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

ШКІЛЬНИЙ КУРС АСТРОНОМІЇ У ПРЕЗЕНТАЦІЯХ

Описані основні питання шкільного курсу астрономії, висвітлені у презентаціях.

Ключові слова: астрономія, небесні об'єкти, процеси у них.

Вивчення астрономії у загальноосвітній школі проводиться за двома підручниками [1,2]. Обидва мають достатнє число ілюстрацій для розуміння суті навчального матеріалу, хоча варто зробити окремі зауваження до деяких малюнків [1]. Зокрема, у вступному розділі наведені ілюстрації моделей світу Птолемея та Коперника. Друга модель зображена вірно, а на першій (рис. 1.1) відсутні епіцикли та деференти, тому пояснити пелевидний рух планет неможливо. При описі систем небесних координат на рис. 5.2 зображена модель небесної сфери для встановлення екваторіальних координат світил. На ньому показано положення точки весняного рівнодення, хоча спосіб її отримання відсутній. Таким же чином описані екваторіальні координати у підручнику [2]. Це та інше ускладнює використання підручника вчителем та розуміння матеріалу учнями. Тому є потреба у корекції цих недоречностей та урізноманітненні ілюстраційних матеріалів всіх тем шкільного курсу астрономії.

Пропонуємо набір презентацій, розроблений за участю студентів 5-го курсу фізико-математичного факультету на заняттях з курсу «Методика навчання астрономії». Їх можна використати при вивченні шкільного курсу астрономії. Створено такі презентації:

Астрономія як наука.

1. Сузір'я.
2. Астрономічні обсерваторії.
3. Оптичні телескопи.
4. Радіотелескопи.
5. Внесок українських вчених у розвиток космонавтики.
6. Небесна сфера.
7. Видимі рухи планет. Закони Кеплера.
8. Видимий рух Місяця. Сонячні й місячні затемнення.

9. Космічні системи GPS та GPRS.
10. Сонячна система.
11. Планети Сонячної системи. Планети-гіганти.
12. Малі тіла Сонячної системи (астероїди, комети, метеори й метеорити).
13. Найближча зоря Сонце.
14. Зорі та їх еволюція.
15. Чорні діри.
16. Наша Галактика.
17. Галактики.
18. Будова та еволюція Всесвіту.

Всі презентації виконані у "Microsoft Office Power Point 97-2003". До окремих з них додані фрагменти фільмів, які можна використати при наявності вільного часу. Презентації різні за обсягом і включають від 20 до 160 слайдів. До кожного зображення підібрана коротка текстова інформація, що доповнює або уточнює матеріал підручника. Наведемо короткі відомості про матеріал презентацій.

«Астрономія як наука» розкриває завдання астрономії, її місце серед інших природничих наук, практичні завдання, які вона вирішує та містить портрети та короткі відомості про вчених-основоположників астрономії – від Арістотеля до Галілея.

«Сузір'я» – показані старовинні й сучасні карти зоряного неба, форма та вигляд всіх 88 сузір'їв, у тому числі й зодіакальних, числові значення їх координат й відомості про цікаві астрономічні об'єкти, розташовані у їх межах (туманності, зоряні скупчення, галактики тощо).

«Астрономічні обсерваторії» – фотографії та місце розташування основних обсерваторій світу, їх обладнання, включаючи й космічний телескоп «Габбл».