

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України “КПІ”, Україна

НЕТРАДИЦІЙНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СВІТЛОВИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ЯК НОСІЯ ІНФОРМАЦІЇ

В роботі показується, що виходячи з квантових уявлень, світлові електромагнітні хвилі слід розглядати не як коливання середовища, а як потік фотонів - особливих частинок, що коливаються. Фотон являє собою елементарну систему, в якій відбуваються коливання векторів \vec{E} і \vec{H} . Таким чином вдається об'єднати корпускулярні і хвильові властивості світла - тиск світла, фотоефект, інтерференцію, дифракцію, поляризацію - і пояснити їх з однієї точки зору

електромагнітні хвилі, властивості світла, вторинні сферичні хвилі, фотоефект, квант світла, флуоресценція, дифракція, принцип Гюйгенса, вторинне X-випромінювання, принцип Гюйгенса-Френеля

Вступ

Методика навчання передбачає застосування таких способів розгляду навчального матеріалу, які б забезпечували найповніше і найкраще його сприйняття і засвоєння. При цьому не можна обминути питань, які є проблемними не тільки з точки зору навчання, але також з точки зору науки. До таких, зокрема, відноситься питання двоїстості природи світла, варіант проблемного розгляду якого ми подаємо в даній статті.

Проблема двоїстості природи світла виникла 100 років тому, але ми не можемо говорити про її цілковите розв'язання й сьогодні. Про те, що світло – це хвилі, однозначно впливає з явищ інтерференції і дифракції. В той же час корпускулярні властивості світла підтверджуються наявністю у фотона імпульсу і тиску світла, явищем фотоефекту. Однак трактування, що світло – це хвилі і частинки одночасно, містить елементи невизначеності і суперечності, оскільки частинка локалізована, а хвиля – явище просторове. Такі суперечності виявляються при розгляді класичних питань фізики, наприклад, дифракції.

Традиційно дифракція визначається як відхилення променя від прямолінійності поширення, “оги-

нання” ним гострих неоднорідностей і заходження світла в область тіні. В основу пояснення явища дифракції покладено принцип Гюйгенса, згідно з яким при поширенні хвиль від джерела збурення кожна точка хвильової поверхні стає джерелом нових хвиль. Це дозволяє замість джерела розглядати коливання, що поширюються у простір від хвильової поверхні із врахуванням фаз коливань, що йдуть від кожного її елемента, і знайти амплітуду коливань в деякій точці спостереження, яка може знаходитись також в області тіні. Однак таке твердження стосовно світлових хвиль є неспроможним, оскільки будь-яка абстрактна точка світлової хвильової поверхні з точки зору квантової теорії не може стати джерелом нових фотонів, бо фотон випромінюється джерелом як частинка, має релятивістську масу m , швидкість c і рухається лише в одному напрямку у відповідності з законом збереження імпульсу. Те, що фотони поширюються не як хвилі, а як частинки, дуже наочно підтверджено дослідом Боте по випромінюванню фотонів атомами в результаті флуоресценції під дією X-променів невеликої інтенсивності [1] (рис.1).

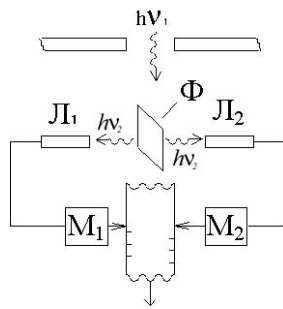


Рис. 1. Дослід Боте

При флуоресценції кванти вторинного Х-випромінювання $h\nu_2$ фіксуються лічильниками L_1 і L_2 з протилежних сторін металевої фольги Φ за допомогою записуючих механізмів M_1 і M_2 не одночасно, як це повинно було б бути, якби від атома поширювалась в усі сторони хвиля, а незалежно і безладно. Це означає, що атом випромінює фотон як частинку, що має імпульс \vec{p} і рухається в одному напрямку. Таким чином, поодинокий акт випромінювання атома не можна трактувати як сферичну хвилю, що поширюється в усі сторони, а з певними застереженнями хіба-що можна розглядати як плоску хвилю. Проте при розгляді явища дифракції світла поняття точкового джерела випромінювання і сферичної хвильової поверхні використовується в усіх загальновідомих навчальних посібниках без яких-небудь пояснень [2 - 6].

Очевидно, що такий підхід стосовно світлових хвиль не можна назвати коректним. Пояснення, що у відповідності з принципом Гюйгенса-Френеля збурення в деякій точці P поза хвильовою поверхнею S (рис. 2) можна розглядати як результат спільної дії всіх її елементів dS [4,7], тобто як суперпозицію **вторинних сферичних хвиль**, стосовно світла не має фізичного змісту, оскільки немає підстав стверджувати, що кожна точка хвильової поверхні є джерелом вторинних хвиль. Якби було так, то це означало б, що від кожної точки хвильової поверхні, куди дійшов фотон, в усі сторони випромінюються кванти світла, тобто інші фотони, а це не відповідає

закону збереження імпульсу фотона і його прямолінійного поширення.

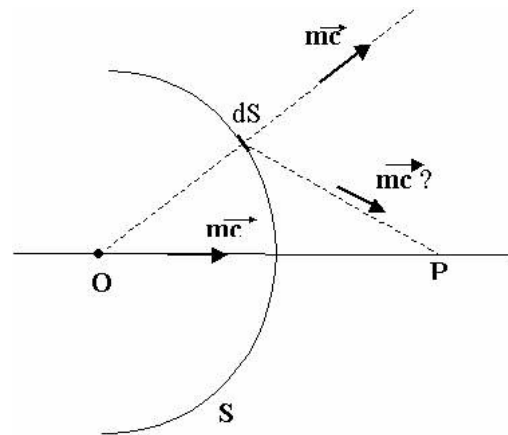


Рис. 2. Принцип Гюйгенса-Френеля

Застереження щодо перенесення на світло класичних уявлень про хвилі, як коливання середовища, впливає також з тих міркувань, що випромінювання кванта світла є одномоментним і дуже специфічним актом. Під час випромінювання фотона атомом відбувається зміна енергії електрона ΔW , яка дорівнює енергії фотона $h\nu$. Однак при цьому відбувається ще одне явище, яке традиційно не помічається – це **породження маси** фотона. Фотон, як частинка, має імпульс $\vec{p} = m\vec{c}$, де m – релятивістська маса [4]. Ми знаємо про перетворення маси в енергію при поділі ядер ($\Delta W = c^2\Delta m$) – так званий дефект маси. Також відома анігіляція пари електрон-позитрон, коли відбувається зникнення мас електрона і позитрона і поява двох гамма-квантів. Цілком логічно допустити, що можливий зворотний процес – перетворення енергії в масу, і підтвердженням цього може бути випромінювання фотона атомом. Причому фотон, випромінений як частинка, може переміщуватися у просторі на величезні відстані, які вимірюються світловими роками, а при поглинанні атомом знову перетворюються в енергію.

Інтенсивність світла визначається кількістю ви-

промінених квантів, тому є всі підстави розглядати світло не як коливання середовища, а як потік частинок. Однак фотони – частинки специфічні. Для них, крім наявності маси, імпульсу, властива ще одна характеристика – це наявність фази. Саме завдяки неоднаковій фазі фотонів, що сходяться в деякій точці, спостерігаються явища інтерференції чи дифракції. Оскільки фаза є характеристикою коливального процесу, то це означає, що фотон є частинкою, що коливається.

Виходячи з міркувань, що світло – це електромагнітні коливання, фотон можна розглядати як частинку, що являє собою елементарну систему, в якій відбуваються коливання векторів \vec{E} і \vec{H} , які характеризують електричне і магнітне поля. Коливання векторів \vec{E} і \vec{H} відбуваються перпендикулярно до напрямку руху фотона, що узгоджується з уявленнями про світло як поперечні електромагнітні хвилі.

Виходячи з викладеного, процес випромінювання і поширення електромагнітних хвиль можна представити таким чином. Джерело світла випромінює велику кількість фотонів в усі сторони у різних фазах і з різними напрямками коливань \vec{E} і \vec{H} (неполяризоване світло). Серед множини хаотично випромінених квантів можна виділити фотони з однаковою фазою коливань і розглядати їх як хвильову поверхню. Однак, як це вже відзначалось, точки такої хвильової поверхні, очевидно, не можуть бути центрами нових хвиль, і від них не можуть поширюватися у відповідності з принципом Гюйгенса в усі сторони вторинні хвилі, оскільки фотони, що вийшли з джерела O (рис.2), не можуть змінити напрямку свого руху. Тому в точці P не може спостерігатися такий результат, який впливає з принципу Гюйгенса-Френеля. Зокрема, стає неспроможною ідея зонних пластинок [8].

Для того, щоб фотон змінив напрямок руху, необхідно, щоб на його шляху з'явилась перепона. Тоді на краю перепони відбудеться те, що ми називаємо

дифракцією – перевипромінення фотонів у різні сторони, причому, як в область тіні за перепонною, так і в зворотному напрямку, що трактується як дифракція при відбиванні (рис.3).

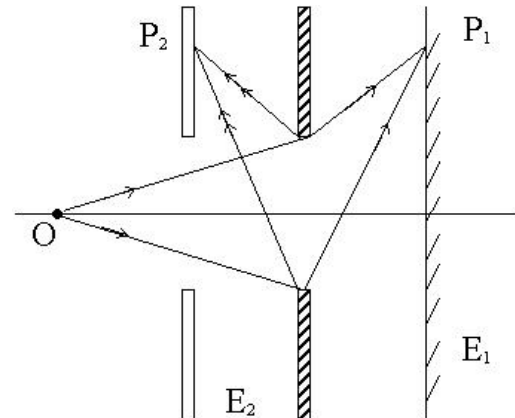


Рис. 3. Дифракція при відбиванні

Таким чином, розглядаючи фотони як частинки, що являють собою елементарні коливальні системи, цілком прийнятно і без суперечностей можемо сумістити необ'єднане і пояснити двоїстість природи світла, його хвильові та корпускулярні властивості – явища інтерференції, дифракції, поляризації, фотоефект, тиск світла тощо.

Однак при цьому залишається нерозкритим важливе питання: якого типу коливання відбуваються з фотоном?

У відповідності з сучасними уявленнями [1- 4], світло є електромагнітною хвилею, яка являє собою коливання векторів напруженостей електричного \vec{E} і магнітного \vec{H} полів, які відбуваються з однаковою фазою ψ і поширюються зі швидкістю \vec{c} :

$$E = E_m \cos(\omega t - kx + \psi),$$

$$H = H_m \cos(\omega t - kx + \psi).$$

Перенесення енергії світлом характеризується вектором Умова-Пойнтінга

$$\vec{P} = [\vec{E}\vec{H}].$$

На рис. 4 представлено графічне зображення електромагнітних коливань у світловій хвилі.

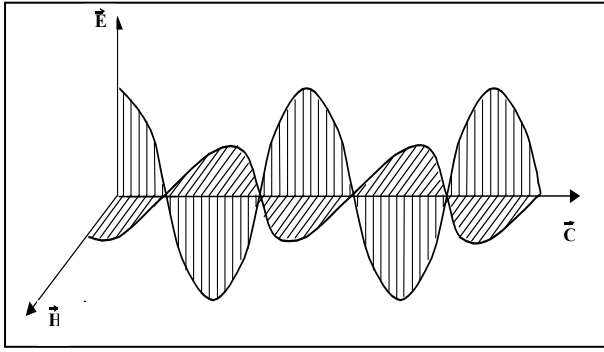


Рис. 4. Графічне зображення електромагнітних коливань у світловій хвилі

Густина енергії електричної і магнітної складових відповідно дорівнюють:

$$w_E = \frac{\epsilon_0 E^2}{2},$$

$$w_H = \frac{\mu_0 H^2}{2}.$$

Оскільки \vec{E} і \vec{H} змінюються з однаковою фазою за гармонічним законом, то змінюється також енергія хвилі і в певні моменти часу вона дорівнює нулеві. З точки зору закону збереження виникає питання, як можуть відбуватися зміни чи перетворення енергії електромагнітної хвилі? При поширенні хвиль у пружних середовищах відбуваються взаємні перетворення кінетичної енергії в потенціальну і навпаки. У випадку ж електромагнітних коливань перетворення магнітної енергії хвилі в електричну чи електричної – у магнітну, як це відбувається в коливальному контурі, неможливе, оскільки зміни \vec{E} і \vec{H} мають однакові фази, тобто вектори \vec{E} і \vec{H} одночасно зростають або одночасно зменшуються. Саме цей факт у теорії електромагнітних хвиль Максвелла не знайшов достатнього обґрунтування до сьогодення часу.

На основі викладених міркувань ми розглядаємо світло як потік фотонів – особливих частинок, які мають релятивістську масу, але які коливаються, завдяки чому до них можна застосувати поняття фази. При такому трактуванні фотона можна зробити висновок, що під час поширення електромагніт-

ної хвилі – потоку фотонів – відбуваються взаємні перетворення енергії поля і маси фотона у відповідності з рівнянням Ейнштейна $W = c^2 m$. Такий висновок цілком узгоджується з квантовою теорією світла і підтверджується наявністю у фотона, як частинки, імпульсу $\vec{p} = m \vec{c}$, що проявляється як тиск світла [3,4]. В той же час зберігаються хвильові властивості світла, які визначаються наявністю у фотона польових характеристик \vec{E} і \vec{H} , що проявляється в 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. Таким чином, двоїстість природи світла – корпускулярна і хвильова – виражається в тому, що фотон являє собою деяку коливальну систему, в якій відбувається процес перетворення енергії електромагнітного поля $W = W_E + W_H$ у масу фотона, і навпаки – маси фотона в енергію електромагнітного поля. Саме це й обумовлює виявлення як хвильових, так і корпускулярних властивостей світла.

Слід зауважити, що запропонована інтерпретація поширення електромагнітної хвилі у просторі з літературних даних невідома. Відомо про перетворення маси в електромагнітні хвилі. Наприклад, зменшення маси ядра в результаті ядерних перетворень супроводжується випромінюванням γ -квантів. Також при анігіляції електрона і позитрона їхні маси перетворюються у два γ -кванти. Однак відсутні приклади зворотного процесу – перетворення енергії у масу.

Таким чином, виходячи із запропонованих нами міркувань, можна вважати, що електромагнітна хвиля є прикладом вияву періодичного перетворення енергії поля в масу фотона і навпаки.

З цієї точки зору цікаво розглянути процес випромінювання і поглинання кванта світла атомом. Відомо, що при переході електрона зі збудженого

стану в нормальний відбувається випромінювання фотона, енергія якого $W = h\nu$ дорівнює різниці енергій збудженого і нормального станів. Однак слід звернути увагу, що при цій зміні енергії відбувається якісно нове явище – народження *маси* фотона $m = p/c$. Не менш цікавим є також акт поглинання фотона атомом, оскільки при поглинанні релятивістська маса фотона зникає.

Висновки

1. На основі викладеного робимо висновок, що світло випромінюється квантами і поширюється також квантами у вигляді фотонів – особливих частинок, для яких характерна фаза, що проявляється при явищах інтерференції і дифракції.

2. Оскільки фаза є характеристикою коливального процесу, робимо висновок, що фотон, поширюючись, знаходиться в коливальному стані. При цьому фотон являє собою коливальний процес нового типу: енергія–маса–енергія–маса...

Таким чином проявляється двоїста природа світла – хвильова і корпускулярна.

Література

1. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 3. - М.:

Наука, 1979. -380 с.

2. Зисман Г.А., Годес О.М. Курс общей физики. т.3. - М.: Наука. 1968. – 288 с.

3. Фриш К.Б., Тиморева В.А. Курс общей физики. т. 3. -М.: Физматгиз, 1961 – 396 с.

4. Ландсберг Г.С. Оптика. - М.: Наука, 1976. – 254 с.

5. Бутиков Е.И. Оптика. - М.: Высшая школа, 1986. – 269 с.

6. Савельев И.В.. Курс общей физики. т. 2. - М.: Наука, 1978. -378 с.

7. Калитиевский Н.И. Волновая оптика. - М.: Высшая школа, 1978. – 206 с.

8. Сусь Б.А. Неспроможність ідеї зонних пластинок з точки зору квантової теорії світла // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій і інформатизації Національного технічного університету “КПІ”. -К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. 2002. - Вип. 4. - С.26-34.

Надійшла до редакції 15.10.03

Рецензент: д-р техн. наук, професор Лахно В.І., Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського „ХАІ”, м. Харків