

ТРАДИЦІЙНІ ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ФІЗИКИ

Анотація. Розповідь про фізику як найважливішу науку майбутнього з огляду на розвиток Всесвіту і пов’язані з цим проблеми людської цивілізації. Аналізує з позицій системного підходу фундаментальні традиційні проблемні питання фізики, які не вдалося розв’язати протягом минулого сторіччя, такі як двоїстість природи матерії; суперечність двоїстості природи електромагнітних хвиль і, зокрема, світла; проблеми дифракції світла; проблеми коливних процесів у частинках як хвилях де Бройля, які лежать в основі квантової механіки; проблеми гравітаційного притягування між тілами. Автор дає своє, традиційно незвичне бачення цих проблем, запрошує до дискусії.

ФІЗИКА – НАУКА ДЛЯ МАЙБУТНЬОГО

Б.А. Сусь

Ми є частиною Всесвіту, який знаходиться у безперервному русі. Це нежива природа, але в ній виникло живе. **Живе відрізняється від неживого тим, що воно перебуває у розвитку. Розвиватися – це властивість живого.** І як тільки живе перестає розвиватися, воно стає неживим. Тому **в природі йде безперервний процес розвитку живого і проникнення його в сфери неживої матерії.** Це стосується як найпростіших форм живого, так і складних систем і найвищої його форми – суспільства.

Люди як окремі індивіди і як члени спільноти прагнуть до розвитку, хоча, можливо, й не усвідомлюють, що вони повинні розвиватися. Існує якийсь колективний розум, який спонукає їх до цього в усі історичні часи. І незважаючи на страшні хвороби, війни, голод, стихійні катаклізми, людство все-таки розвивається. Нині кожна людина має мобільний телефон, радіо, телевізор, в принципі кожен може мати комп’ютер. Людство вже побувало на Місяці, досягнуло інших планет. Сто років тому про таке не було підстав навіть думати, це була область фантастики. Нині є. А що буде через наступні 100 років ? Чи можемо уявити ?

З іншого боку, сто років тому ніхто з людей не думав про екологію. Тепер це актуальна проблема для людства. Проблеми екології хвилюють людство і зрозуміло чому. Знову діє колективний розум.

А тепер погляньмо на дуже далеку перспективу. Сонце і Земля існують десь біля 4,5 мільярдів років. Тут зародилося життя. Але ще **через 4 мільярди років Земля стане непридатною для життя.** Звичайно, для окремої людини це щось дуже й дуже далеке від потреб

кожного дня, бо їй потрібно просто жити і вона перейнята життєвими проблемами. Але існує знову ж таки якийсь колективний розум, можливо у вигляді інстинкту, який все-таки спрямовує **розвиток** людства. Бо людство не може йти в нікуди. Навкрути неосяжний космос. Якщо Земля – наша, своя, близька, то космос – чужий і жорстокий. І в тому далекому майбутньому нам, людям, ніхто не допоможе, тому самі собі маємо дати раду. А для цього мусимо розвиватися. Важко навіть уявити якого розвитку людство досягне в майбутньому, але воно повинно створити системи, придатні для життя не однієї людини, а для життя багатьох поколінь і таким чином добратися до планет інших зірок, щоб продовжити життя. Зрозуміло, що без наукового розвитку цього не станеться. Звичайно, розвиток повинен бути всебічним. Всі науки будуть важливі. Але без розв’язання фізичних проблем, не буде прощо й думати. Бо йдеться про знання природи. А це справа фізики як науки про природу. Тому фізика – найважливіша заук для майбутнього.

Традиційні проблеми. Наші уявлення про природу невпинно розвиваються, вдосконалюються існуючі і виробляються нові поняття, які виражають суть фізичних явищ і процесів, що необхідно для з’ясування фізичних проблем, які вчені намагаються розв’язати. Однак є проблеми фундаментального характеру, які не вдається розв’язати протягом багатьох поколінь. До таких можна віднести проблему переходу матерії з одного виду в інший, проблему двоїстості природи електромагнітного випромінювання, зокрема світла. Ця світоглядна проблема є фундаментальною, але в неї закладені суперечності, які не вдалося подолати протягом сотні років. Наприклад, достеменно відомо, що **світло має хвильову природу** – це так звані електромагнітні хвилі (ЕМХ). Незаперечним підтвердженням хвильової природи світла є явище інтерференції. Інтерференція – результат накладання двох однакових хвиль, що проявляється в інтерференційній картині з максимумів і мінімумів. Але настільки ж переконливим є факт, що світло – це частинки, які дістали назву фотонів. Сумніву в тому, що світло є хвилею і частинками водночас – нема, але проблема в тому, що ці два поняття суперечать одне одному. Бо за існуючими традиційними уявленнями **хвиля – явище просторове і для її поширення потрібне середовище** (наприклад, звук поширюється в повітрі). Але якщо світло частинка, то вона уже не роззосереджена в просторі, а локально обмежена. І **для поширення частинки якесь середовище не потрібне**. Все це означає незавершеність наших уявлень про світло, недосконалість понять і термінів, що їх визначають. Причину такого проблемного стану зі світлом ми вбачаємо в тому, **у фізиці непоміченим залишився важливий вид хвильового процесу**, обумовлений специфічною формою руху. Фактично завжди мова йде про хвилі в середовищі, але не говориться про **хвильовий процес, пов’язаний з потоком частинок, що коливаються**. Тому для з’ясування

проблеми і її розв’язання доцільно розглянути розвиток уявлень і понять в історичному аспекті, розуміння їх вченими у різний час. Потрібна також переоцінка термінів, що теж дуже важливо, особливо, коли це стосується навчання.

Дещо з історії. Ньютон розумів світло як потік корпускул (частинок), що вільно поширюються в просторі і за різні кольори відповідають різні корпускули. Таким чином, він заклав основу для корпускулярної теорії світла. Однак після відкриття Юнгом явища інтерференції світла, стало зрозумілим, що світло – це хвилі, оскільки інтерференція – явище хвильове.

На рис. 1 показано, як на місці перекриття двох хвиль виникає інтерференційна картина максимумів і мінімумів коливань.

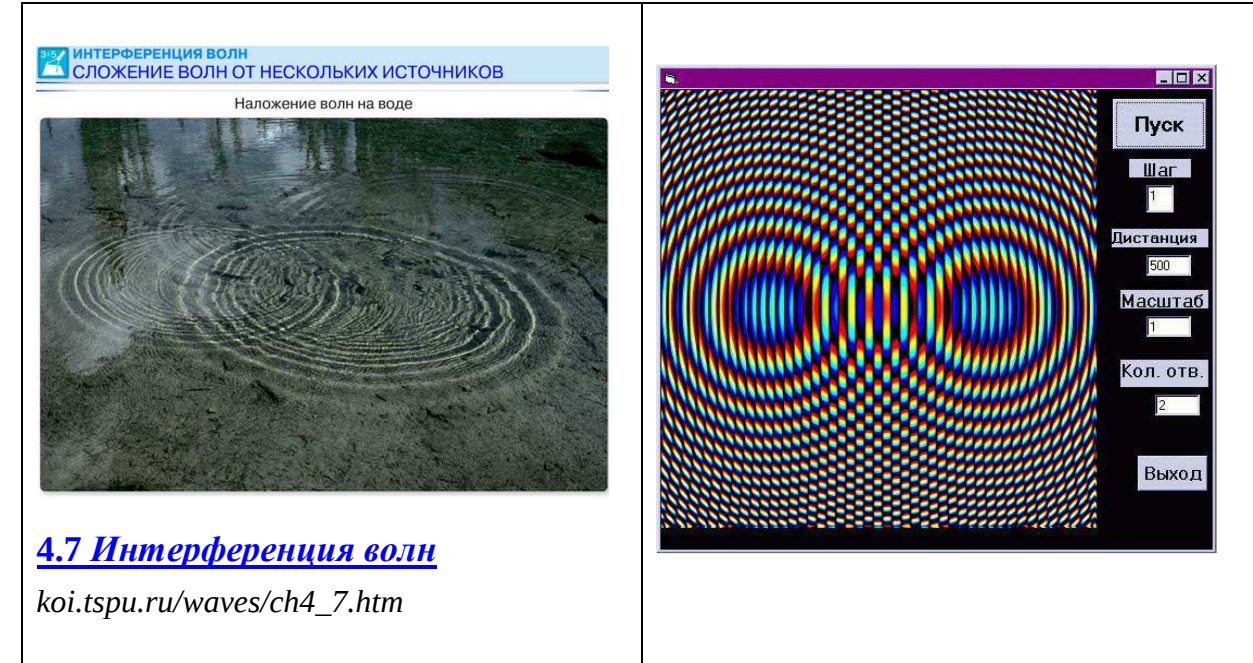


Рис. 1

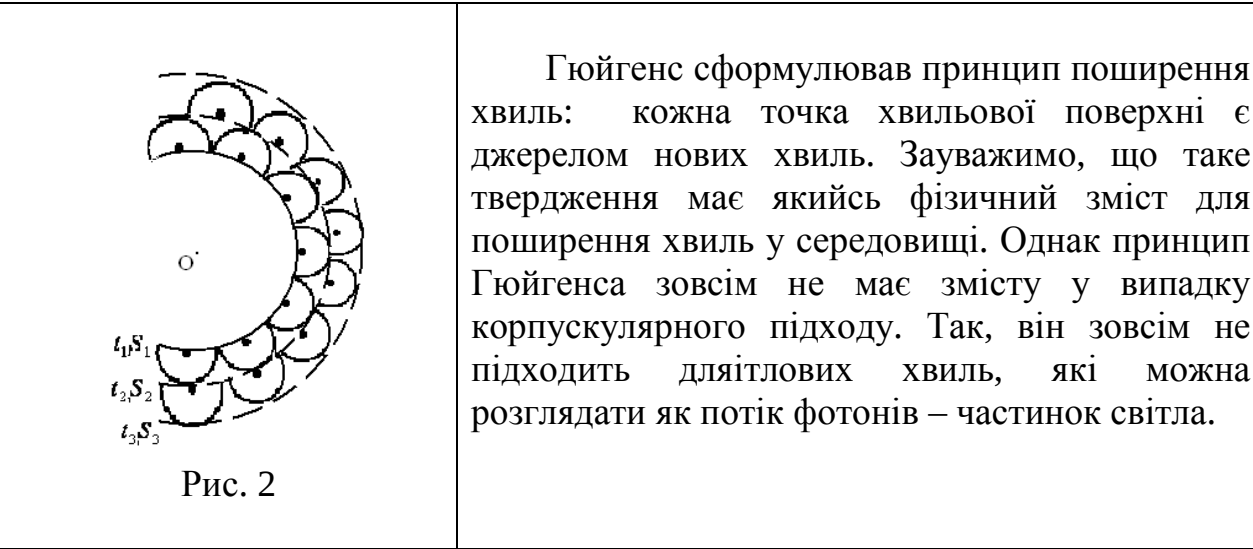


Рис. 2

Хвильова теорія світла утвердилась на тривалий час і вона є основою для пояснення хвильових явищ і нині. Проте за допомогою хвильової теорії неможливо було пояснити природу теплового випромінювання, незрозумілий був механізм поширення світлових хвиль. Для пояснення було введено поняття ефіру, який ніби-то заповнює увесь простір і є середовищем для поширення світла. Проте незрозуміло було як в ефірі можуть поширюватись поперечні коливання.

Не можна було також пояснити явища фотоефекту, зокрема існування «червоної границі» фотоефекту. Фотоефект – це вибивання світлом електронів з металу. Виявилось, що не всяке світло може вибивати електрони з металу. Світло з короткою довжиною хвилі (фіолетове) вибивало електрони, а більшої довжини – з боку червоної частини спектру – не вибивало, навіть незважаючи на велику інтенсивність. Це спричинило повернення до корпускулярної теорії світла. Світло знову стали розглядати як потік частинок – фотонів. Фізика опинилась в стані двоїстості, коли для пояснення хвильових властивостей світла доводилось використовувати хвильовий підхід, а для пояснення корпускулярних – корпускулярний.

Треба відмітити, що такий стан існує протягом сотні років і ці два різні підходи не узгоджені й тепер. Це означає, що кожна з теорій містить елементи неспроможності. Тому й донині залишаються проблемними для пояснення питання:

- ***Якщо світло – хвилі, то в якому середовищі вони поширюються?***
- ***Якщо світло – частинки, то що в них є характеристикою коливного процесу? Де частота, де фаза ?***

Але найбільш проблемним є ***питання суперечності хвильової і корпускулярної теорій***, на що ми звертаємо увагу окремо.

Проблему двоїстості природи світла добре розумів Ейнштейн. Так, аналізуючи результати численних досліджень, в 1954 році він писав [1, с. 215]:

«Що таке світло – хвиля чи ливень світлових корпускул ?... Схоже, що нема ніяких шансів послідовно описати світлові явища, вибравши тільки яку-небудь одну з двох можливих теорій. Стан такий, що ми повинні застосовувати іноді одну теорію, а іноді другу, а час від часу одну й другу. Ми зустрілися з трудностю нового типу. Маємо дві протилежні картини реальності, але ні одна з теорій окремо не пояснює всіх світлових явищ, тоді як сумісно вони їх пояснюють».

Ейнштейн розумів складність пояснення двоїстості природи світла, що виражено в його висловлюванні: **«Усе життя я буду думати про те, що таке світло»**. Очевидно, в той час важко було уявити поширення хвиль без середовища, важко відмовитись від якогось «ефіру». Однак ми знаємо, що Ейнштейн, створюючи спеціальну теорію відносності, відмовився від поняття ефіру. Проблема ще й ускладнювалась тим, що світлові хвилі – поперечні.

З корпускулярної точки зору ґрунтовно розглянуто природу світла у фундаментальній праці Л.Д. Ландау «Квантовая электродинамика» [2, с. 29]:

«Опис поля як сукупності фотонів є єдиним описом, цілком адекватним фізичному змісту електромагнітного поля в квантовій теорії. Воно замінює класичний опис за допомогою напруженості поля. ... Ми можемо розглядати вільне електромагнітне поле як сукупність частинок, кожна з яких має енергію $W = h\nu$ і імпульс $k = nh\nu/c$ ».

Як бачимо, Ландау [2] електромагнітне поле представляє як сукупність частинок, для яких, у відповідності з гіпотезою Планка, властива частота ν . Фотони називаються **частинками**, але в такому представленні відсутні найважливіші характеристики частинок, такі як **маса m** і **кількість руху $K = mv$** . Тут кількість руху замінена поняттям «імпульс», хоч слово «імпульс» означає поштовх, а частинка, яка вільно рухається, ніякого поштовху не чинить.

Слід відзначити, що Ландау, розглядаючи поле як сукупність частинок, дуже близько підійшов до відповіді на питання, як усунути суперечність у твердженні, що частинка світла локалізована, а хвиля – явище просторове. Однак висновку такого не було зроблено.

Слід звернути увагу також на те, що в підході Ландау, як і у випадку з міркуваннями Ейнштейна, йдеться про те, що фотони – частинки, з якими пов'язана частота хвиль. Однак не конкретизовано, з якими саме коливаннями ця частота пов'язана, як через фотони представляються електромагнітні хвилі, як ці хвилі реалізуються із сукупності фотонів. Не розкрита **природа і характер коливань фотонів**. Відповідь на ці фундаментальне питання не сформульована. Тобто, Ландау розглядає світло, виходячи з корпускулярної природи у відповідності з висловлюванням Ейнштейна.

Нема також відповіді на фундаментальне питання, яке виникає з теорії електромагнітних хвиль Максвелла: *у що перетворюється енергія*

електромагнітної хвилі, коли вона змінюється в процесі коливань ?
Адже існує закон збереження енергії !

**У що перетворюється
Енергія електромагнітної хвилі,
коли вона змінюється в процесі коливань ?
Адже існує закон збереження енергії !**

Дійсно, коливання електричного (E) і магнітного (H) полів в ЕМХ відбуваються в одній фазі, тобто разом зростають і разом зменшуються (рис. 1). Тому енергія електричного поля переходить в енергію магнітного поля, як це має місце в коливальному контурі, не може.

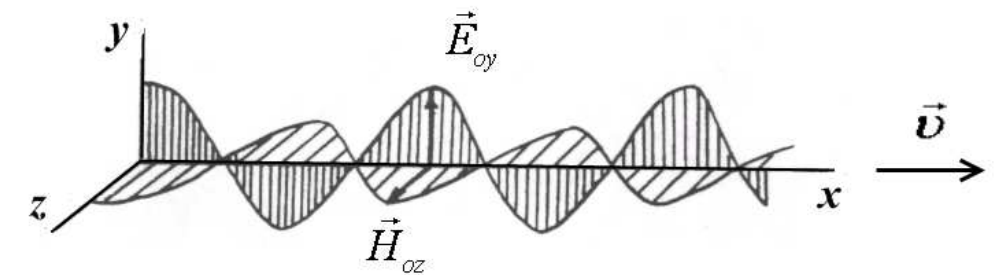


Рис. 1

Отже відповідь треба шукати, бо питання природи електромагнітних хвиль і, зокрема, світла не з'ясовані і нині. Вони є проблемними і потребують дослідження.

Фотон як система з власними коливаннями. Будь-які коливання є наслідком зміни енергії коливальної системи. Оскільки коливання електричного і магнітного полів в ЕМХ відбуваються в одній фазі, то енергія електричного поля переходить в енергію магнітного поля і навпаки не може. Який же тип коливань реалізується у випадку зі світлом ? Ми знаємо ще один процес, пов'язаний зі зміною енергії, у відповідності зі співвідношенням $W = c^2 m$, яке визначає перехід одного виду матерії в інший – поля (енергії) в речовину (масу) і навпаки. Тому залишається припустити, що в ЕМХ відбувається саме такий вид коливального руху. Як показано в роботі [3], електромагнітна хвиля являє собою форму руху типу:

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots$$

Також залишилось відкритим питання узгодження хвильової і корпускулярної природи світла. Тому традиційно й донині корпускулярні і хвильові властивості світла у навчальних посібниках розглядаються окремо, з усіма існуючими суперечностями і навіть без спроби їх узгодження. А явище дифракції навіть в найновіших навчальних посібниках розглядається **тільки з точки зору хвильової природи світла** і ніде не досліджується з корпускулярної точки зору. Ось деякі нові видання навчальних посібників :

4. Кингсеп А.С. Курс общей физики. Учебное пособие для вузов, т. 1. / А.С. Кингсеп, Г.Р. Локшин, О.А. Ольхов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – С. 584.

5. Бутиков Е.И. Физика: Электродинамика; Оптика. / Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. – Москва : ФИЗМАТЛИТ. 2008. – С. 277.

6. Алешкевич В.А. Курс общей физики. Оптика / В.А. Алешкевич – М. ФИЗМАТЛИТ. 2010. – С.121.

7. Paul A. Tipler. Physics for scientists and engineers. With modern physics / Paul A. Tipler, Gene Moska. New York. 2008 by W.H. Freeman and Company. P. 1150.

Більше того, дифракція трактується як суто хвильове явище, тоді як воно більшою мірою є явищем корпускулярним. Покажемо це на прикладах.

Дифракція з точки зору хвильової природи світла. Світло від точкового джерела *O* поширюється у вигляді хвиль. З точки зору хвильової теорії, у відповідності з принципом Гюйгенса, кожен елемент хвильової поверхні розглядається як джерело нових хвиль. Таким чином, джерело світла замінюється хвильовою поверхнею, що світиться [6, с.121].

Для пояснення дифракції хвильова поверхня розбивається на зони Френеля, які враховують різницю фаз променів завдяки різній довжині їх ходу у точку спостереження *K* (рис. 3).

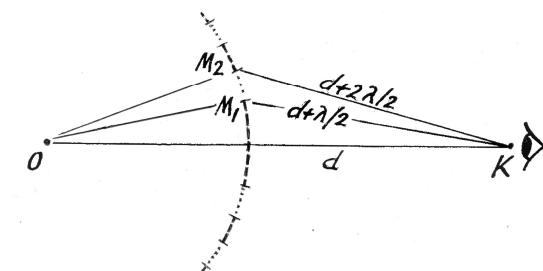


Рис. 3

В результаті у точці K має місце інтерференція променів від усіх елементів хвильової поверхні. Відповідно проводиться розрахунок дифракційної картини: кожна зона Френеля розбивається на нескінченно малі елементи і знаходиться результат дії всіх елементів для всіх зон у точці спостереження.

Отже, особливістю принципу Гюйгенса-Френеля є те, що **джерело світла замінюється хвильовою поверхнею, яка світиться** [6]. Правда, в деяких навчальних посібниках до цього твердження підходять із застереженням, наприклад, в [4, с. 584] джерела вторинних хвиль називаються фіктивними. Треба зауважити, що представлений спосіб розрахунку дифракційної картини є формальним, оскільки світло розглядається як деякий абстрактний хвильовий процес. Такий підхід допустимий для хвиль, які поширюються в середовищі, але в принципі неприйнятний для світла, природа якого двоїста – світло є хвилі і частинки одночасно, а середовище для розповсюдження хвиль відсутнє.

Спроба ж дати пояснення явища дифракції на основі корпускулярного підходу призводить до суперечності з хвильовим підходом.

Дифракція світла з точки зору корпускулярних уявлень. З точки зору корпускулярного підходу світло – це потік фотонів. Фотон як частинка має «імпульс» і оскільки існує закон збереження «імпульсу», то це необхідно враховувати при розгляді явища дифракції. Бо наявність «імпульсу» у фотона суперечить принципу Гюйгенса стосовно поширення хвиль. За принципом Гюйгенса кожен елемент хвильової поверхні є джерелом нових хвиль. Однак фотон, дійшовши до елемента хвильової поверхні dS (рис. 4), за законом збереження «імпульсу» $\vec{p}$ не може змінити напрямку свого руху і не може потрапити в точку спостереження K . А це суперечить принципу Гюйгенса.

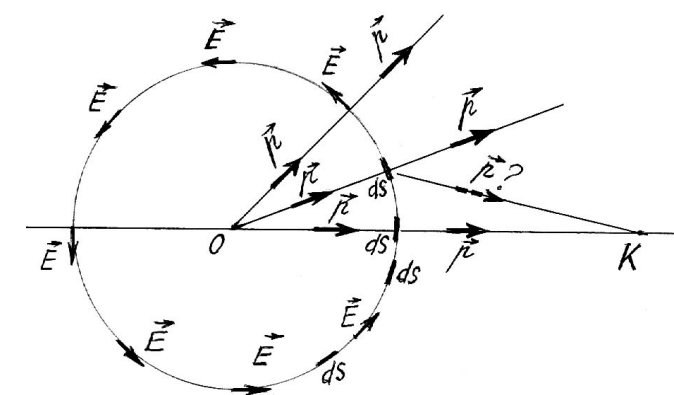


Рис. 4

Однак, якщо фотон потрапить на край зонної пластинки (в точки M чи L), то відбудеться взаємодія фотона з перешкодою і перевипромінення в якомусь напрямку, зокрема й у напрямку K (рис. 5).

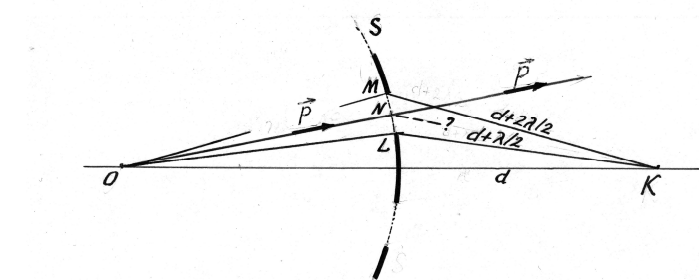


Рис. 5

Виходить, що з *точки зору корпускулярного підходу для світла принцип Гюйгенса не має реального фізичного змісту*, а значить розрахунки і пояснення дифракційних ефектів, зроблені на основі принципу Гюйгенса, мають формальний абстрактний характер. В результаті хвильовий і квантовий підходи щодо описування одного й того ж явища знаходяться в суперечності. Однак висновки стосовно фізичного явища не залежать від способу описування. Тому необхідно шукати пояснення, яке б не призводило до суперечливих результатів.

Узгодженість хвильового і корпускулярного підходів. Звернемо увагу на ту обставину, що дифракційна картина спостерігається при дотриманні важливих умов – *краї перепони повинні бути різкими !* Це має принципове значення, бо саме різкі краї перепони визначають наявність дифракції як явища. Наприклад, якщо прикрити хвильову поверхню зонними пластинками (на рис. 5 жирні частини хвильової поверхні), то фотон, у відповідності із законом збереження «імпульсу», пройде крізь відкриту зону $M-L$, не змінивши напрямку руху, але на краях щілини в точках M і L відбудеться перевипромінювання фотона і він може потрапити в будь-яку точку, зокрема і в точку K .

Таким чином, **краї перепони в точках M і L стають когерентними джерелами, які створюють інтерференційну картину** і в точці K дають певне значення інтенсивності (максимум чи мінімум). Різкість країв перепони має принципове значення, оскільки лише за таких умов забезпечується "точковість" джерел і виразність інтерференційної (дифракційної) картини.

Зауважимо, що випромінюючими елементами, тобто когерентними джерелами при дифракції, є не відкриті частини хвильової поверхні $M-L$, а саме краї зонної пластинки (точки M і L), де відбувається перевипромінювання світла. Так що дифракція з точки зору корпускулярного розгляду обумовлена не випромінюванням відкритих ділянок перепони, як це пояснюється при хвильовому підході, а різкими краями перепони.

Висновки. На основі аналізу розвитку фізичних уявлень і понять про світло в історичному аспекті показана їх незавершеність, що є справжньою причиною суперечності між хвильовим і корпускулярним підходами при розгляді світлових явищ. Причина такого проблемного стану в тому, що у фізиці непоміченим залишився важливий вид хвильового процесу типу енергія-маса-енергія-маса-...

Література

1. Эйнштейн А. Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. – М. : Наука. 1965. – 326 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. IV / В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика. – М.: Наука. 1989. – 728 с.
3. Sus' B.A. Unusual interpretation of traditional physics problems. The third scientific-methodological edition / B.A. Sus', B.B. Sus', O.B. Kravchenko. – Kyiv: PC “Prosvita”, 2012. – 121 pages.
4. Кингсеп А.С. Курс общей физики. Учебное пособие для вузов, т. 1. / А.С. Кингсеп, Г.Р. Локшин, О.А. Ольхов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – С. 584.
5. Бутиков Е.И. Физика: Электродинамика; Оптика. / Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. – Москва : ФИЗМАТЛИТ. 2008. – С. 277.
6. Алешкевич В.А. Курс общей физики. Оптика / В.А. Алешкевич – М. ФИЗМАТЛИТ. 2010. – С.121.
7. Paul A. Tipler. Physics for scientists and engineers. With modern physics / Paul A. Tipler, Gene Moska. New York. 2008 by W.H. Freeman and Company. P. 1150.

Анотація

Сусь Б.А. Історичні аспекти розвитку фізичних уявлень і понять про природу світла. Показана незавершеність фізичних уявлень і понять про світло, що є справжньою причиною суперечності між хвильовим і корпускулярним підходами при розгляді світлових явищ. Причина такого проблемного стану в тому, що у фізиці непоміченим залишився важливий вид хвильового процесу світла типу **енергія-маса-енергія-маса-...**