

РАДИОФИЗИКА

РАДИОФИЗИКА

RADIOPHYSICS

УДК 534 (07)

Грохольський Я. М.¹, Сусь Б. А.², Сусь Б. Б.³

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматичних систем управління, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна

²Д-р пед. наук, професор кафедри фізики, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна

³Канд. фіз.-мат. наук, викладач кафедри нанофізики конденсованих систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

РАДИОХВИЛІ ЯК ПОТІК ЧАСТИНОК, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ У КОЛИВАЛЬНОМУ СТАНІ

До електромагнітних хвиль відносяться радіохвилі, світло, рентгенівське і гаммавипромінювання. Однак традиційно як в науковій, так і в навчальній літературі електромагнітні хвилі розглядаються з різних позицій. Радіохвилі завжди розглядаються як хвилі, тоді як світло представляється як електромагнітні хвилі і як потік частинок. Світло, будучи електромагнітними хвилями, що безсумнівно підтверджується експериментально таким хвильовим явищем як інтерференція, в той же час трактується як потік частинок, які мають назву фотонів. Оскільки радіохвилі, як і світло, є електромагнітними хвилями, то постає питання трактувати їх також з точки зору корпускулярного підходу. Показано, що радіохвилі як частина діапазону електромагнітних хвиль також мають двоїсту корпускулярно-хвильову природу – це і хвилі і частинки водночас. Окремі частинки радіохвиль перебувають в коливальному стані, при якому відбувається перехід електромагнітної енергії частинки в масу і навпаки.

Ключові слова: радіохвилі, електромагнітні хвилі, корпускулярно-хвильова природа, коливальний стан, потік частинок, енергія.

НОМЕНКЛАТУРА

\vec{E} – напруженість електричного поля;

\vec{H} – напруженість магнітного поля;

v – швидкість поширення хвилі;

$\Psi_1 = \Psi_2$ – початкові фази коливань електричного і магнітного полів;

Π – густина потоку енергії;

ΔW – зміна енергії електромагнітної хвилі;

m – зміна динамічної маси електромагнітної хвилі.

ВСТУП

До електромагнітних хвиль відносяться радіохвилі, світло, рентгенівське і гаммавипромінювання. Однак традиційно як в науковій, так і в навчальній літературі електромагнітні хвилі розглядаються з різних позицій. Так, радіохвилі завжди розглядаються як хвилі, тоді як світло представляється як електромагнітні хвилі і як потік частинок – фотонів. Ми звикли, що хвилі розповсюджуються в якомусь середовищі. Наприклад, хвилі спостерігаються як коливання води, а звук поширюється як коливання повітря. І ми знаємо, що ні в воді, ні в повітрі при поширенні хвиль нема якихось особливих «хвильових» частинок, а є коливання середовища. Але світло, будучи електромагнітними хвилями, що безсумнівно підтверджується експериментально таким хвильовим явищем як інтерференція, в той же час трактується як потік частинок, які мають назву фотонів. Те, що світло є потоком частинок незаперечно підтверджується експе-

риментально явищем фотоефекту, ефектом Комптона, дослідом Боте. Оскільки радіохвилі, як і світло, є електромагнітними хвилями, то постає питання трактувати їх також з точки зору корпускулярного підходу.

1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Проблема в тому, що при традиційних підходах до розуміння природи електромагнітних хвиль виникає ряд суперечностей, які не мають пояснення протягом сотні років. Дійсно, якщо радіохвилі є тільки хвилями, а не потоком якихось частинок, то невідомо що коливається при поширенні радіохвиль. Яке середовище коливається? А коли розглядати світло як потік частинок (що незаперечно), то невідомо де тут хвильовий процес? Що коливається? Разом з тим і радіохвилі і світло мають одну фізичну природу – вони є електромагнітними хвилями. Отже, існує проблема встановлення причини суперечностей, які виникають при трактуванні електромагнітних хвиль з різною довжиною хвилі, включаючи радіохвилі і світло.

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Прикладом суперечностей в поясненні природи електромагнітних хвиль може бути досить нове видання шкільного підручника [1], де світло розглядається «як потік фотонів, а фотони як кванти електромагнітного випромінювання, що мають одночасно і хвильові і корпускулярні властивості». Те, що світло, рентгенівське і гаммавипромінювання дійсно мають двоїсту природу –

що це і хвилі і частинки водночас, добре відомо і є безсумнівним: «Світло є явищем складним: в одних випадках воно поводить себе як електромагнітна хвиля, а в інших – як потік особливих частинок (фотонів)» [2]. Але цікавим є те, що електромагнітні хвилі іншого діапазону – радіохвилі, в навчальній і науковій літературі розглядаються тільки як хвильове явище. Таке розділення електромагнітних хвиль різного діапазону довжин хвиль не має фізичного обґрунтування, бо їх фізична природа однакова, про що дуже виразно сказано у відомому навчальному посібнику В.Д. Сивухіна: «Згідно з теорією Максвелла світло є частинним випадком електромагнітних хвиль. Від усіх інших електромагнітних хвиль світло відрізняється тільки кількісно – довжиною хвилі» [3]. Оскільки світло як частина діапазону електромагнітних хвиль має двоїсту природу, то виникає проблема трактування радіохвиль також з точки зору їх двоїстості – як хвильового процесу, так і корпускулярного. Погляд на явище з іншої точки зору може відкрити інші можливості його бачення.

3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ

Електромагнітні хвилі були відкриті на основі досліджень електромагнітних явищ. Основу теорії електромагнітних хвиль створеної Максвеллом, становлять теорема про циркуляцію магнітного поля, закон електромагнітної індукції Фарадея, теорема Остроградського-Гаусса для електричного і магнітного полів [2]:

$$\oint_1 \vec{H} d\vec{l} = \int_S \frac{d\vec{D}}{dt} d\vec{s} + \int_S \vec{j} d\vec{s},$$

$$\oint_1 \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \left(\int_S \vec{B} d\vec{s} \right),$$

$$\int_S \vec{B} d\vec{s} = 0,$$

$$\int_S \vec{D} d\vec{s} = q.$$

Розв'язок системи цих рівнянь приводить до висновку про існування електромагнітних хвиль – взаємно обумовлених коливань електричного E_y і магнітного H_z полів:

$$E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kx + \psi_1),$$

$$H_z = H_{0z} \cos(\omega t - kx + \psi_2).$$

На рис. 1 графічно представлено коливання векторів напруженостей \vec{E} і \vec{H} електромагнітної хвилі.

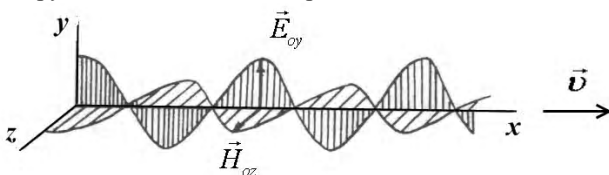


Рисунок 1 – Коливання напруженостей електричного (\vec{E}) і магнітного (\vec{H}) полів в електромагнітній хвилі

Важливо зазначити, що коливання \vec{E} і \vec{H} відбуваються з однаковою фазою, тобто $\psi_1 = \psi_2$. Справа в тому, що електричне і магнітне поля мають енергію. Але так як напруженості і в процесі коливань змінюються, то змінюється й енергія електромагнітної хвилі. Густина потоку енергії

$$\begin{aligned} \Pi = EH = E_y H_z = E_{0y} \cos(\omega t - kx) \cdot H_{0z} \cos(\omega t - kx) = \\ = E_{0y} H_{0z} \cos^2(\omega t - kx). \end{aligned}$$

Як бачимо, потік енергії змінюється в часі і в просторі і ця зміна має коливальний характер. Оскільки існує закон збереження енергії, то постає питання: у що перетворюється енергія електромагнітної хвилі, коли вона змінюється? Енергія магнітного поля переходить в енергію електричного поля і навпаки, як це має місце в коливальному контурі, не може. В коливальному контурі між електричним полем в конденсаторі і магнітним полем в котушці індуктивності існує різниця фаз $\Delta\psi = \frac{\pi}{2}$, що й

обумовлює коливальний процес як перехід енергії електричного поля в енергію магнітного поля і навпаки, тоді як у випадку електромагнітної хвилі електричне і магнітне поля разом зростають і разом зменшуються, бо коливаються в однаковій фазі ($\psi_1 = \psi_2$). Отже електричне поле хвилі переходить в магнітне поле і навпаки – не можуть. Тому постає питання: у що перетворюється енергія електромагнітної хвилі в процесі коливань? Щоб відповісти на це питання, потрібно детальніше з'ясувати, що ж таке електромагнітна хвиля? Якого типу коливання в ній відбуваються? Як вона поширюється в просторі?

Будемо виходити з того, що природа всіх електромагнітних хвиль однакова і вона така ж, як і в світла, властивості якого вивчалися вченими дуже ґрунтовно. Гюйгенс більш ніж 300 років тому вважав, що середовищем для поширення світла є гіпотетичний «ефір» і відповідно до таких уявлень пояснював світлові явища. В той час взагалі хвилі уявлялися як коливання якогось середовища. Якщо кинути на воду камінець, то від місця збурення біжить хвиля як коливання води. Звук – це теж коливання повітря як середовища. Іншого типу хвиль, ніж коливання середовища, тоді не знали. Тому й світло уявлялося як коливання якогось гіпотетичного середовища «ефіру». Вважати світло хвилями спонукало явище дифракції як заходження світлових хвиль за перешкоду. При поширенні коливань в середовищі дифракція справді є хвильовим явищем. Однак була й інша точка зору на природу світла. Так, Ньютон розглядав світло як потік певних корпускул – частинок світла. Корпускулярні погляди поряд з хвильовими уявленнями існували тривалий час, але коли у 1800 р. Юнгом було відкрито явище інтерференції світла, яке як і дифракція вважалося суто хвильовим явищем, то ідея Гюйгенса, що світло – це хвилі, отримала підтвердження і запанувала надовго, до початку минулого століття, коли було відкрито явища фотоелекту – вибивання світлом електронів з металу, чим було підтверджено, що світло – частинки. Виникла так звана проблема дуалізму світла. Виходило, з одного боку, що світло – хвилі, для поширення яких потрібне середо-

вище, а з іншого боку – що світло є потоком частинок, для поширення яких середовище не потрібне. Зауважимо, що вже в самому такому представленні світла закладена суперечність, бо хвиля – явище просторове, а частинка локалізована. Уявити як одночасно можна бути хвилею у просторі і бути частинкою, локалізованою в обмеженому об'ємі – дуже проблематично. Ця проблема двоїстості природи світла дійшла до нашого часу. Доречно навести думку Ейнштейна щодо проблеми двоїстості природи світла:

«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 зіткнулися з трудностю нового типу. Масмо дві протилежні картини реальності, але ні одна з теорій окремо не пояснює всіх світлових явищ, тоді як сумісно вони їх пояснюють» [4].

Слід підкреслити, що незважаючи на суперечність хвильового і корпускулярного підходів, сумніву в тому, що світло є і хвилею і частинками одночасно – нема. Світло дійсно має двоїсту природу – це хвилі і частинки водночас, що встановлено експериментально. Безумовно, що проблема двоїстості стосується також радіохвиль, які також є електромагнітними хвилями. Необхідно тільки з'ясувати причину існуючих суперечностей. Детальний розгляд проблеми представлено в роботі [5], де показується, що світло як електромагнітна хвиля є певною формою руху матерії, коли один вид матерії (речовина) перетворюється в інший вид матерії (поле). Приклади переходу матерії з одного виду в інший добре відомі. Таке відбувається при поділі ядра урану під час вибуху ядерної бомби, коли частина маси ядра (речовина) переходить в енергію гаммавипромінювання (поле). Цей процес відбувається у відповідності з відомим співвідношенням $W = c^2 m$, яке встановлює зв'язок між масою і енергією. Відомий також зворотній перехід – з поля в речовину, коли при зустрічі двох γ -квантів (поле) утворюються електрон і позитрон. Тому цілком логічно допустити, що переходи з одного виду матерії в інший існують не тільки як окремі прояви природи, а можливі процеси неперервного переходу матерії з одного виду в інший як коливальна форма руху. І виявом такої форми руху є світло та інші електромагнітні хвилі, в тому числі й радіохвилі.

Оскільки в електромагнітній хвилі має місце коливання енергії і існує закон збереження енергії, то це означає, що енергія, змінюючись, повинна переходити в якийсь інший вид. Відомо, що при коливанні маятника кінетична енергія переходить в потенціальну, а потенціальна – в кінетичну, що й визначає коливальний рух. В електромагнітній хвилі, включаючи світло і радіохвилі, також існує коливання енергії, що впливає з теорії Максвелла електромагнітних хвиль. Однак теорія Максвелла не дає (і не може дати) відповіді на сакральне питання: у що перетворюється енергія електромагнітної хвилі, коли вона змінюється? Відповідь закладена у фундаментальному співвідношенні $W = c^2 m$, яке встановлює зв'язок між масою і енергією. Оскільки в процесі коливань енергія

змінюється, то повинна змінюватися і енергія: $\Delta W = c^2 \Delta m$. Тому саме це співвідношення обумовлює безперервний періодичний процес переходу енергії в масу і маси в енергію:

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots \quad (1)$$

Це і є хвильовий процес. Однак необхідно детальніше пояснити радіохвилю як явище просторове і природу її двоїстості. В цьому питанні також існує повна аналогія радіохвилі зі світлом. Враховуючи двоїстість природи, світло слід розглядати не просто як потік частинок, а як потік особливих частинок, кожна з яких перебуває у коливному стані типу (1) [5]. І такий потік вже являє собою хвилю, оскільки відбувається поширення коливань у просторі. При такому підході суперечність у питанні двоїстості природи світла усувається, бо одночасно є частинки і є хвильовий процес. Можна провести аналогію між потоком частинок світла і зграєю пташок у польоті, де кожна пташка (частинка) махає крилами (коливний процес) і переміщується в просторі (рис. 2).

Серед зграї можна виділити пташок, які махають крилами в однаковій фазі – разом піднімають і разом опускають. Такі пташки в просторі утворюють хвильову поверхню з певною фазою, інші пташки утворюють хвильову поверхню з іншою фазою, що відповідає установленим уявленням про хвилі. Наочною моделлю хвиль із частинок може бути також марш колони солдатів, де кожен солдат періодично рухає ногами і таке переміщення коливань у просторі можна розглядати як хвильовий процес (рис. 3). Підкреслимо, що для поширення хвиль із частинок якимсь середовищем не потрібне.

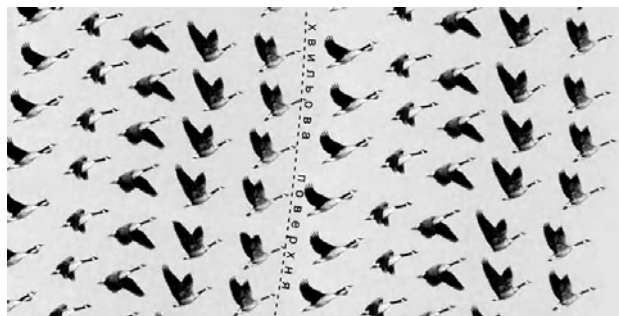


Рисунок 2 – Політ птахів як модель хвильового процесу частинок, що перебувають у коливальному стані



Рисунок 3 – Марш колони солдатів як хвильовий процес

Таким же чином, як би то було незвично, електромагнітну хвилю радіодіапазону також можна трактувати як потік частинок, що коливаються з відповідною частотою. Руху частинки, яка коливається і переміщується, відповідає певна довжина хвилі. За аналогією до світла, частинки якого називаються фотонами, частинки хвиль радіодіапазону умовно можемо назвати «*R*-фотонами». Потрапляючи на провідник (антену), «*R*-фотони» своїм електричним полем впливають на електрони і викликають відповідну електрорушійну силу. А далі всі процеси підсилення електромагнітних коливань розглядаються узвичасним шляхом.

Таким чином, розглядаючи електромагнітні хвилі як потік частинок, що перебувають в коливальному стані типу $\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots$, приходимо до розуміння, що існує зовсім інша природа хвиль, ніж це уявлялося традиційно як коливання певного середовища. І як би то було незвично, радіохвилі також треба розглядати як потік частинок, що коливаються.

ВИСНОВКИ

Радіохвилі як частина діапазону електромагнітних хвиль мають двоїсту корпускулярно-хвильову природу – це хвилі і частинки водночас. Корпускулярно-хвильова природа визначається тим, що окремі частинки радіох-

виль перебувають в коливальному стані, при якому відбувається коливний процес переходу електричної і магнітної енергії частинки в масу і навпаки:

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

Потік частинок, що коливаються, утворює просторову хвилю з добре відомими хвильовими властивостями. Насправді йдеться про те, що існує дві принципово відмінні природи хвиль – як коливання середовища і як потік частинок, яким властивий внутрішній коливальний процес.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Касьянов В. А. Физика. Учебник для общеобразовательных школ. 11 класс / В. А. Касьянов. – М. : «Дрофа». – 288 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики, т. 2 / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1978, § 104.
3. Сивухин В.Д. Общий курс физики, т. 3 / В. Д. Сивухин. – М. : Наука, 1977. – 704 р.
4. Эйнштейн А. Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. – М. : Наука. 1965. – 326 с. (Albert Einstein and Leopold Infeld. The evolution of physics. – New York : Simon and Schuster. 1954).
5. Sus' B. A. Unusual interpretation of traditional problems in physics. The third scientific-methodological edition / B. A. Sus', B. B. Sus', O. B. Kravchenko. – Kyiv : PC «Prosvita», 2012. – 121 p.

Статті надійшла до редакції 05.09.2016.

Після доробки 22.09.2016.

Грохольский Я. М.¹, Сусь Б. А.², Сусь Б. Б.³

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматических систем управления, Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

²Д-р пед. наук, профессор кафедры физики, Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

³Канд. физ.мат. наук, преподаватель кафедры нанофизики конденсированных систем Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

РАДИОВОЛНЫ КАК ПОТОК ЧАСТИЦ, КОТОРЫЕ НАХОДЯТСЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

К электромагнитным волнам относятся радиоволны, свет, рентгеновское и гаммаизлучения. Однако традиционно как в научной, так и в учебной литературе электромагнитные волны рассматриваются с разных позиций. Радиоволны всегда рассматриваются как волны, тогда как свет представляется как электромагнитные волны и как поток частиц. То, что свет является электромагнитными волнами, несомненно подтверждается экспериментально таким волновым явлением как интерференция, и в то же время трактуется как поток частиц, называемых фотонами. Поскольку радиоволны, как и свет, являются электромагнитными волнами, то возникает вопрос представлять их также с точки зрения корпускулярного подхода. Показано, что радиоволны как часть диапазона электромагнитных волн также имеют двойственную корпускулярно-волновую природу – это и волны и частицы одновременно. Отдельные частицы радиоволн находятся в колебательном состоянии, при котором происходит переход электромагнитной энергии частицы в массу и наоборот.

Ключевые слова: радиоволны, электромагнитные колебания, корпускулярно-волновая природа, энергия.

Grokholskyi Y. M.¹, Sus' B. A.², Sus' B. B.³

¹PhD., Associate Professor, Automated Control Systems department, Military Institute of Telecommunications and Information. Kyiv, Ukraine

²PhD, Professor, Military Institute of Telecommunications and Information, Kyiv, Ukraine

³PhD, Assistant Professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

RADIO WAVES AS A STREAM OF PARTICLES IN VIBRATIONAL STATE

Electromagnetic waves are a radio, light, X-rays and gamma rays. However, traditionally electromagnetic waves considered in scientific and in academic literature in different positions. Radio waves are always considered as a waves, while light is represented as electromagnetic waves and as a stream of particles. Light as electromagnetic waves, which undoubtedly confirmed experimentally in such a phenomenon as wave interference, at the same time treated as a stream of particles, which are called photons. Since radio waves, like light, are electromagnetic waves, also the question arises to interpret them in terms of corpuscular approach. It is shown that the range of radio waves as electromagnetic waves also have dual wave-particle nature – this is the wave and a particle at the same time. Some particles of radio waves stay in the vibrational state with the transition of electromagnetic energy to particle mass and vice versa.

Keywords: radio waves, electromagnetic fluctuations of wave-particle nature, oscillational state, energy.

REFERENCES

1. Kas'yanov V. A. Fizika. Uchebnik dlya obshheobrazovatel'nykh shkol. 11 klass. Moscow, Drofa, 288 p.
2. Savel'ev I. V. Kurs obshhej fiziki, t. 2. Moscow, Nauka, 1978, § 104.
3. Sivuxin V. D. Obshhij kurs fiziki, t. 3. Moscow, Nauka, 1977, 704 p.
4. E'jnshtejn A., Infel'd L. E'voljuciya fiziki. Moscow, Nauka, 1965, 326 p. (Albert Einstein and Leopold Infeld. The evolution of physics. New York, Simon and Schuster, 1954).
5. Sus' B. A., Sus' B. B., Kravchenko O. B. Unusual interpretation of traditional problems in physics. The third scientific-methodological edition. Kyiv, PC «Prosvita», 2012, 121 p.