

УДК 534 (07)

Сусь Б.А., Грохольський Я.М.

## ПРО ДВОЇСТІТЬ ПРИРОДИ РАДІОХВИЛЬ

*Показано, що радіохвилі як частина діапазону електромагнітних хвиль 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 коливання, корпускулярно-хвильову природу, коливальний стан.

**Постановка проблеми.** У школі і у вищій школі традиційно радіохвилі розглядаються як хвильове явище [1]. Особливість радіохвиль в тому, що вони генеруються електротехнічними методами. Однак радіохвилі – це лише частина із загального діапазону електромагнітних хвиль і добре відомо, що інша частина діапазону – світло, рентгенівське і гаммавипромінювання – мають двоїсту природу, – це і хвилі і частинки водночас. Тому 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.

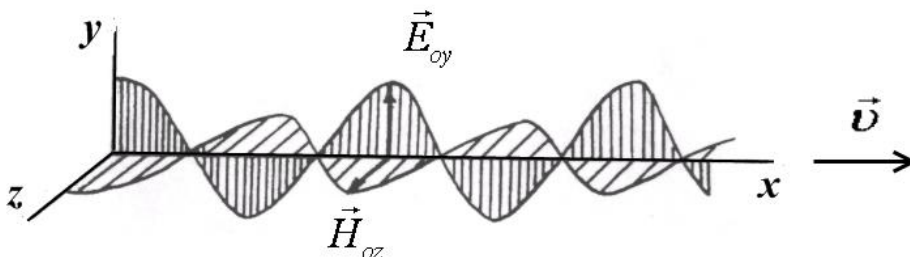
**Розгляд проблеми.** Електромагнітні хвилі (EMX) були відкриті на основі досліджень електромагнітних явищ. Основу теорії EMX, створеної Максвеллом, становлять теорема про циркуляцію магнітного поля, закон електромагнітної індукції Фарадея, теорема Остроградського-Гаусса для електричного і магнітного полів:

$$\begin{aligned} \oint_1 \vec{H} d\vec{l} &= \int_s \frac{d\vec{D}}{dt} d\vec{s} + \int_s \vec{j} d\vec{s}, & \int_s \vec{B} d\vec{s} &= 0, \\ \oint_1 \vec{E} d\vec{l} &= -\frac{d}{dt} \left( \int_s \vec{B} d\vec{s} \right), & \int_s \vec{D} d\vec{s} &= q. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} E_y &= E_{0y} \cos(\omega t - kx + \psi_1) \\ H_z &= H_{0z} \cos(\omega t - kx + \psi_2) \end{aligned}$$

На мал. 1 представлено коливання векторів  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$ .



Мал. 1

Важливо зазначити, що коливання  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  відбуваються з однаковою фазою, тобто  $\psi_1 = \psi_2$ .

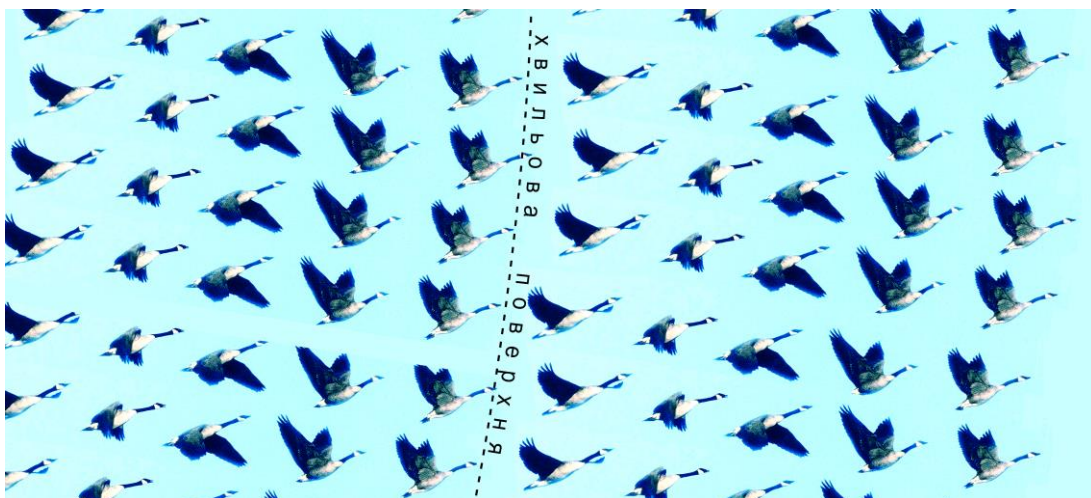
Справа в тому, що електричне і магнітне поля мають енергію. Але так як  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  змінюються, то змінюється й енергія електромагнітної хвилі. Густина потоку енергії  $P = EH = E_0 H_0 \cos^2(\omega t - kx + \psi)$  змінюється як у часі так і в просторі. У зв'язку з тим, що існує закон збереження енергії, постає питання: у що перетворюється енергія ЕМХ при її зміні в процесі коливань? Енергія магнітного поля переходить в енергію електричного поля і навпаки, як це має місце в коливальному контурі, не може, оскільки електричне і магнітне поля разом зростають і разом зменшуються, тобто, коливаються в однаковій фазі. Щоб відповісти на поставлене питання, потрібно детальніше з'ясувати, що ж таке електромагнітна хвиля? Як вона поширюється в просторі?

Будемо виходити з того, що природа всіх електромагнітних хвиль однакова і вона така ж, як і в світла. Ще 300 років тому Гюйгенс вважав, що середовищем для поширення світлових хвиль є гіпотетичний "ефір". Пізніше на основі дослідів Майкельсона з'ясувалось, що "ефіру" нема, а світло, крім того, що воно дійсно є хвилями, є ще й частинками, які отримали назву фотонів. Отже, світло без сумніву має двоїсту природу – це хвилі і частинки водночас, що підтверджено експериментально. Але вже в самому такому тлумаченні закладена суперечність, бо хвиля – явище просторове, а частинка локалізована. Уявити як одночасно можна бути в просторі і бути локалізованим в обмеженому об'ємі – дуже проблематично. Однак, в роботі [2] показано, що світло – це певна форма руху матерії, коли один вид матерії (речовина) перетворюється в інший вид матерії (поле). Добре відомі приклади переходу матерії з одного виду в інший. Так, перехід матерії з одного виду в інший відбувається при поділі ядра урану при вибуху ядерної бомби, коли частина маси ядра (речовина) переходить в енергію гаммавипромінювання (поле). Або при взаємодії електрона і позитрона, які зникають як речовина і антиматерія, утворюючи два  $\gamma$ -кванти поля. Цей процес відбувається у відповідності зі співвідношенням  $W = c^2 m$ , яке встановлює зв'язок між масою і енергією. Відомий також перехід зворотнього характеру – з поля в речовину, коли при зустрічі двох  $\gamma$ -квантів утворюються електрон і позитрон. Тому цілком логічно допустити, що в електромагнітній хвилі будь-якої довжини, включаючи діапазон радіохвиль, як і у випадку світла реалізується безперервний періодичний процес переходу маси в енергію і енергії в масу:

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

Таким чином пояснюється природа коливного процесу в електромагнітній хвилі – вона така ж, як і в світла. Однак необхідно детальніше пояснити електромагнітну хвилю як просторове явище. І тут також логічна повна аналогія зі світлом.

Враховуючи двоїстість природи, світло можна розглядати як потік особливих частинок (фотонів), які перебувають у коливному стані [1]. При такому підході суперечності щодо двоїстої природи немає, бо світло являє собою сукупність частинок, кожна з яких перебуває в коливному русі. Можна провести аналогію зі зграєю пташок у польоті. Кожна пташка махає крилами по різному (коливний процес). Однак можна виділити пташок, які махають крилами в однаковій фазі – разом піднімають, разом опускають. Такі пташки в просторі утворюють хвильову поверхню з певною фазою. Інші пташки утворюють хвильову поверхню з іншою фазою (мал. 2).



Мал. 2

Або аналогією хвиль частинок може бути марш колони солдатів, де кожен солдат (частинка) періодично рухає ногами і таке переміщення коливань у просторі можна розглядати як хвильовий процес.

Таким же чином, як би то було незвично, **електромагнітну хвилю радіодіапазону також можна уявити 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 радіохвиль розглядаються узвичаєним шляхом.

**Висновки.** Радіохвилі як частина діапазону електромагнітних коливань мають двоїсту корпускулярно-хвильову природу – це і хвилі і частинки водночас. Корпускулярно-хвильова природа визначається тим, що окремі частинки радіохвиль перебувають в коливальному стані, при якому відбувається коливний процес переходу електромагнітної 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 – хвилі як коливання певного середовища і хвилі як потік частинок, яким властивий внутрішній коливальний процес.

### Використані джерела

1. Савельев И. В. Курс общей физики, т. 2 / Савельев И. В. – М. : Наука, 1978, § 104.
2. Сусь Б.А. Незвичне бачення традиційних проблемних питань фізики. Науково-методичне видання / Сусь Б.А., Сусь Б.Б. – К.: ВЦ "Просвіта", 2010. – 132 с.

Sus' B., Grokholskyi Y.

### ABOUT THE DUALITY OF NATURE OF RADIO WAVES

*Traditionally, radio waves are considered as wave phenomenon. However, radio waves – is only part of the total range of electromagnetic waves have a dual nature. It can be a wave and a particle at the same time. Therefore, there is also the problem of interpretation of radio waves in terms of duality – as the wave and corpuscular process. Electromagnetic waves discussed as mutual vibrations caused by electric and magnetic fields: The electric and magnetic fields have energy. But  $\vec{E}$  and  $\vec{H}$  change during oscillation, and the energy of electromagnetic waves also changes. Because there is a law of conservation of energy, the question arises: What becomes with electromagnetic wave energy when it changes? We will follow the fact that the nature of electromagnetic waves is all the same and it is the same as in the light wave. It turned out that on the one hand, light is a wave, which spread at the desired environment, on the other hand that's particles to which no propagation environment is required. Despite the contradiction of wave and corpuscular approaches, there is no doubt that light is both wave and particle at the same time. Of course, all of this could be applied also to radio waves. Therefore it is logical to assume that electromagnetic waves, including light and radio waves, are realized as continuous periodic process of energy transition into a mass and mass into energy  $\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots$  There is also a complete analogy with light in this issue. Given the duality of nature of light, it should be seen as a special stream of particles, each of which is in oscillation state. Also, this stream is already a wave because of the propagation of oscillations in space. In this approach, the issue of conflicting duality nature of light is eliminated, as a particle represents a wave process at the same time. Therefore, no matter how unusual it is, the radio waves should be considered as a stream of particles as well.*

**Key words:** radio waves, electromagnetic fluctuations of wave-particle nature, oscillational state

Стаття надійшла до редакції 24.05.2016