

§ 34. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ. ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ. ДОСЛІДИ ГЕРЦА



Електромагнітні хвилі теоретично передбачив Дж. Максвелл. Проаналізувавши всі відомі на той час закони електродинаміки, він дійшов висновку, що змінне магнітне поле породжує електричне поле, а змінне електричне поле породжує магнітне. Розрахунки, здійснені Максвеллом, показали, що *коливні електричне й магнітне поля можуть відриватися від провідників, які їх породжують, і рухатися через вакуум зі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с*. На жаль, Максвелл не дожив до експериментального підтвердження своїх розрахунків. Тільки через 15 років після створення Максвеллом теорії електромагнітного поля і через 7 років після смерті Максвелла Генріх Герц (рис. 34.1) продемонстрував випромінювання і приймання електромагнітних хвиль. Саме про електромагнітні хвилі та їхні властивості йдеться в цьому параграфі.



Як утворюється електромагнітна хвиля

Якщо прив'язану на нитці заряджену кульку вивести зі стану рівноваги й відпустити, то кулька розпочне коливальний рух, а електричне поле в просторі, що оточує кульку, буде періодично змінюватися. Згідно з теорією Максвелла змінне електричне поле створить змінне магнітне поле, яке, у свою чергу, створить змінне електричне, і т. д.

Якщо пропускати по провіднику змінний струм, то навколо провідника періодично змінюватиметься магнітне поле. Змінне магнітне поле створить змінне електричне поле, яке, у свою чергу, створить змінне магнітне, і т. д.

Теоретично і в тому, і в іншому випадках ми одержимо поширення коливань електромагнітного поля. Як відомо, поширення в просторі коливань речовини або поля називається *хвилею*. Тобто можна сказати, що ми одержимо *електромагнітну хвилю*.

Електромагнітна хвиля — це процес поширення в просторі електричних і магнітних полів, що періодично змінюються.

Джерелом хвилі в першому випадку буде коливне заряджене тіло, у другому — провідник, по якому тече змінний струм.

Проте реальну електромагнітну хвилю створить тільки змінний струм, але і її енергія буде настільки малою, що хвиля навряд чи подолає відстань, яка дорівнює розміру кімнати. Річ у тім, що енергія електромагнітної хвилі пропорційна частоті в четвертому степені ($W \sim \nu^4$), тому джерелом електромагнітної хвилі може бути тільки пристрій, у якому створюються електромагнітні коливання високої частоти.



Рис. 34.1. Генріх Рудольф Герц (1857–1894) — німецький фізик, один із засновників електродинаміки. Експериментально довів існування електромагнітних радіохвиль (1886–1889); встановив тотожність радіохвиль та світлових хвиль; відкрив зовнішній фотоефект (1887)

2 Які фізичні величини характеризують електромагнітну хвилю

Електромагнітна хвиля як процес поширення електромагнітного поля насамперед характеризується вектором напруженості \vec{E} та вектором магнітної індукції \vec{B} . Будь-яка хвиля періодична і в часі, і в просторі, тому ці величини періодично змінюються і з часом, і зі зміною відстані від джерела хвилі.

За теорією Максвелла вектори \vec{E} і \vec{B} перпендикулярні як до напрямку поширення хвилі, так і один до одного, при цьому вони одночасно досягають максимального значення й одночасно перетворюються на нуль (рис. 34.2). Отже, *електромагнітна хвиля — це поперечна хвиля*.

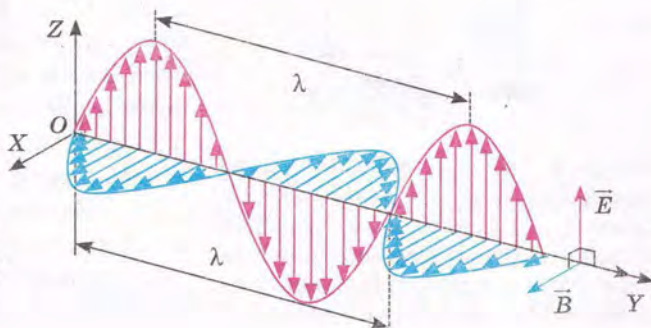


Рис. 34.2. Зміни вектора напруженості \vec{E} електричного поля та вектора індукції \vec{B} магнітного поля під час поширення електромагнітної хвилі в напрямку осі OY

Зверніть увагу: те, що електромагнітна хвиля є поперечною, не означає, що в просторі є якісь горби й западини. Уздовж напрямку поширення хвилі та в даній точці простору відбуваються плавні зміни напруженості та магнітної індукції електромагнітного поля.

Електромагнітна хвиля, як і механічна, характеризується періодом і частотою коливань, довжиною та швидкістю поширення.

Швидкість поширення електромагнітної хвилі — це відстань, на

яку поширюється електромагнітна хвиля за одиницю часу: $v = \frac{s}{t}$.

Швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі є сталою й дорівнює швидкості світла у вакуумі: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Довжина хвилі λ — це відстань, на яку поширюється електромагнітна хвиля за час, що дорівнює періоду; або: відстань між двома найближчими точками в просторі, в яких коливання вектора напруженості (вектора магнітної індукції) відбуваються однаково (див. рис. 34.2).

Довжина хвилі пов'язана зі швидкістю її поширення формулою

хвилі: $c = \frac{\lambda_0}{T} = \lambda_0 \nu$ — для вакууму; $v = \lambda \nu$ — для середовища.

Електромагнітні хвилі переносять енергію. * Якщо перпендикулярно до напрямку поширення хвилі розташувати майданчик площею S , то за інтервал часу Δt через майданчик буде перенесена енергія:

$$W_{\text{ем}} = (w_e + w_m)V = (w_e + w_m)Sl = (w_e + w_m)vS\Delta t,$$

де $l = v\Delta t$ — відстань, на яку поширилась хвиля за час Δt ; $w_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$,

$w_m = \frac{\mu_0 \mu B^2}{2}$ — об'ємні густини електричної й магнітної енергій відповідно.

В будь-якій точці простору: $w_e = w_m$.

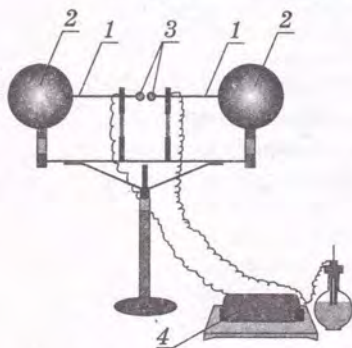


Рис. 34.3. Вібратор Герца: 1 — мідні стрижні діаметром 5 мм і завдовжки 1,3 м кожен; 2 — цинкові сфери діаметром 30 см; 3 — латунні кульки діаметром 3 см, між якими залишався іскровий проміжок у 7–7,5 мм; 4 — джерело високої напруги

3 Досліди Герца з вивчення властивостей електромагнітних хвиль

Вважають, що першим електромагнітні хвилі отримав Г. Герц у 1888 р., сконструювавши для цього випромінювач, названий згодом «вібратором Герца» (рис. 34.3). Коли обидві латунні кульки заряджали до високої різниці потенціалів, між ними проскакувала іскра (коливальний характер якої вже було доведено), і у довкілля випромінювалась електромагнітна хвиля.

Щоб уловлювати випромінювані хвилі, Герц зробив резонатор (рис. 34.4). Змінюючи розмір іскрового проміжку, вчений настраював резонатор на частоту коливань

вібратора. У ті моменти, коли між кульками вібратора відбувався розряд, в іскровому проміжку резонатора проскакували ледь помітні іскорки, які можна було побачити в лупу (рис. 34.5).

Герц не тільки одержав електромагнітні хвилі, а й вивчив їхні властивості.

Учений звернув увагу на те, що *електромагнітні хвилі відбиваються від провідних предметів*. На стіні лабораторії він укріпив цинковий екран розмірами 4×2 м, створив за допомогою сферичного дзеркала та вібратора пучок електромагнітних хвиль і спрямував їх під певним кутом до цинкового екрана. Так Герц встановив, що *кут відбивання дорівнює куту падіння* (рис. 34.6).

Для вивчення заломлення електромагнітних хвиль учений виготовив асфальтову призму заввишки 1,5 м і масою 1,2 т. Помістивши призму між вібратором і резонатором, він помітив, що іскра в резонаторі зникла. Іскроутворення відновлювалося в разі переміщення резонатора до основи призми (рис. 34.7).

Герц також встановив, що електромагнітні хвилі огинають перешкоди, розміри яких порівнянні з довжиною хвилі, тобто довів *дифракцію* електромагнітних хвиль. Переміщуючи резонатор між вібратором і екраном, Герц спостерігав посилення і послаблення іскри, довівши тим самим *інтерференцію* електромагнітних хвиль*.



Рис. 34.6. Дослід Герца з вивчення відбивання електромагнітних хвиль: а — зовнішній вигляд установки; б — схема дослідів

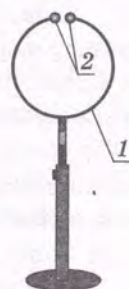


Рис. 34.4. Резонатор Герца: 1 — дротяне незамкнене кільце діаметром 70 см; 2 — латунні кульки діаметром 3 см із малим регульованим іскровим проміжком

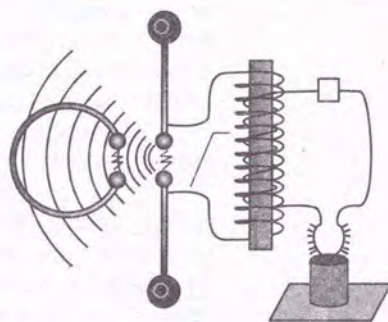


Рис. 34.5. Схема досліду Герца з одержання та реєстрації електромагнітних хвиль

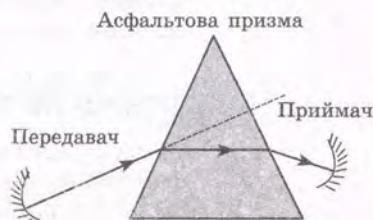


Рис. 34.7. Схема досліду Герца з вивчення заломлення електромагнітних хвиль

* Докладно з явищами дифракції, інтерференції та поляризації хвиль ви познайомитесь під час вивчення оптики.

Повертаючи між вібратором і резонатором ґратку з мідних дротів, натягнутих на дерев'яну раму паралельно один одному, Герц помітив, що іскри в резонаторі зовсім зникали, коли дротини ґратки були паралельними вібратору й резонатору. «Очевидно,— писав щодо цього Герц,— ґратка пропускає лише ту складову вектора напруженості \vec{E} , яка перпендикулярна до напрямку її дротин». Хвилі з певним напрямком коливань називають *поляризованими*, отже, Герц довів *поляризацію* електромагнітних хвиль.

Підсумовуючи свої дослід, Герц писав: «...описані досліди доводять ідентичність світла, теплових променів і електродинамічного хвильового руху».



Підбиваємо підсумки

Електромагнітною хвилею називається процес поширення в просторі електричних і магнітних полів, що періодично змінюються.

Вектори \vec{E} і \vec{B} , які характеризують електромагнітну хвилю, перпендикулярні як до напрямку поширення хвилі, так і один до одного, при цьому вони одночасно досягають максимального значення й одночасно перетворюються на нуль. Електромагнітна хвиля — це поперечна хвиля.

Швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі є сталою й дорівнює швидкості світла $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Досліди Герца показали, що електромагнітні хвилі відбиваються від провідника, заломлюються на межі з діелектриком, можуть інтерферувати, огинати перешкоди, їх можна поляризувати. При цьому відбивання, заломлення, інтерференція й дифракція електромагнітних хвиль відбуваються за такими самими законами, що й для світла. Таким чином, Герц підтвердив висновок Максвелла про електромагнітну природу світла.



Контрольні запитання

1. Дайте визначення електромагнітної хвилі.
2. Опишіть механізм утворення електромагнітної хвилі.
3. Від яких чинників залежить енергія електромагнітної хвилі?
4. До якого виду хвиль належить електромагнітна хвиля? Відповідь обґрунтуйте.
5. Які фізичні величини характеризують електромагнітну хвилю? Як вони між собою пов'язані?
6. Опишіть будову приладів, за допомогою яких Герц створював та вловлював електромагнітні хвилі.
7. Які властивості електромагнітних хвиль було встановлено в ході дослідів Герца? Опишіть ці дослід.