

## Лекція №33

**Тема :** Утворення і поширення електромагнітних хвиль. Швидкість поширення, довжина і частота електромагнітної хвилі. Електромагнітні хвилі в природі і техніці.

### Використана література:

1. Кікоїн І.К., Кікоїн А.К. Фізика. – К.: Освіта, 1990. – 208с.
2. Гончаренко С.У. Фізика: Підруч. для 9 кл. серед. загальноосв. шк.- К.: Освіта, 2002.
3. Гончаренко С.У. Фізика: Підруч. для 10 кл. серед. загальноосв. шк.- К.: Освіта, 2002. – 319 с.
4. Гончаренко С.У. Фізика: Підруч. для 11 кл. серед. загальноосв. шк.- К.: Освіта, 2002. – 319 с.

## Хід заняття

### 1 Електромагнітна хвиля

Отже, відповідно до теорії Максвелла, змінне магнітне поле породжує вихрове електричне, а змінне електричне поле — вихрове магнітне. Звідси Максвелл зробив припущення, що в природі можуть існувати *електромагнітні хвилі*.

Змінне магнітне поле створює змінне електричне поле. Це електричне поле породжує змінне магнітне поле. Те, у свою чергу, знову електричне й т. ін. Виникає система змінних електричних і магнітних полів, що захоплюють дедалі більші області простору.

*Електромагнітна хвиля — це процес поширення в просторі із часом вільного електромагнітного поля.*

Максвелл зміг навіть теоретично обчислити швидкість електромагнітних хвиль, причому йому для цього знадобилися тільки дані про взаємодію електричних зарядів і електричних струмів. Отриманий «на кінчику пера» результат уразив самого Максвелла: швидкість електромагнітних хвиль виявилася рівною 300 000 км/с, тобто збіглася із уже виміряною на той час швидкістю світла.

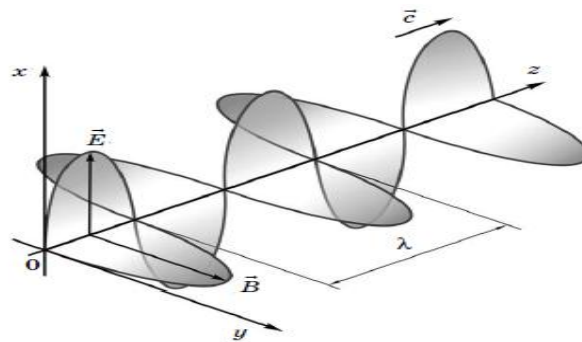
### 2 Поширення електромагнітних хвиль

Між моментом, коли «джерело» випромінило хвилю, і моментом, коли «приймач» її прийняв, мінає якийсь час. Виникає питання: де ж перебуває в цей час та енергія, яку «джерело» хвиль уже випромінило, але «приймач» ще не прийняв?

Відповідно до теорії Максвелла цю енергію несе електромагнітна хвиля. Енергія електромагнітного поля хвилі в цей момент часу змінюється періодично в просторі відповідно до зміни векторів  $E$  і  $B$ .

Електричне й магнітне поля в електромагнітній хвилі перпендикулярні одне до одного, причому кожне з них перпендикулярно до напрямку поширення хвилі.

На рисунку схематично зображена залежність від координат вектора напруженості електричного поля й вектора індукції магнітного поля в електромагнітній хвилі в певний момент часу.



У кожній точці простору, крізь який рухається електромагнітна хвиля, модуль вектора напруженості електричного поля пропорційний вектору індукції магнітного поля, а напрямлені ці вектори завжди під прямим кутом один до одного. Гребені хвилі переміщуються в просторі зі швидкістю світла  $c$ .

У кожній точці електромагнітної хвилі електричне й магнітне поля періодично змінюються з часом. Частота всіх таких коливань однакова. Натомість амплітуди й фази коливань відрізняються.

Для електромагнітної хвилі у вакуумі період  $T$ , частота й довжина хвилі пов'язані співвідношеннями

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}.$$

Протягом одного періоду хвиля проходить відстань, що дорівнює довжині хвилі.

### 3 Види хвиль

Хвилі бувають двох видів: поперечні і подовжні. Поперечними називають хвилі, що розповсюджуються в перпендикулярному напрямі розповсюдженню хвилі. Подовжніми хвилями називають хвилі, що розповсюджуються вздовж напрямку розповсюдженню хвилі.

Основна властивість всіх хвиль незалежно від їх природи полягає в переміщенні енергії без перенесення речовини. Довжиною хвилі називається відстань між найближчими точками, що коливаються в однакових фазах.

Хвилі різної довжини використовуються в різних галузях людської діяльності. ДХ - довгі хвилі (їх довжина може досягати кілометра); СХ - середні хвилі ; КХ - короткі хвилі ; УКХ - ультра короткі хвилі. Різні види механічних хвиль, як поперечні, так і подовжні можуть розповсюджуватися тільки в безперервному середовищі, в твердих тілах, рідинах і газах.

У вакуумі механічні хвилі розповсюджуватися не можуть. Процес розповсюдження змінних магнітного і електричного полів і є електромагнітна хвиля.

Електромагнітні хвилі можуть існувати і розповсюджуватися у вакуумі.

Для утворення інтенсивних електромагнітних хвиль необхідно створити електромагнітні коливання достатньо високої частоти.

Зміни електромагнітного поля відбуваються при зміні сили струму в провіднику, а сила струму в провіднику змінюється при зміні швидкості руху електричних зарядів в ньому, тобто при русі зарядів з прискоренням.

Отже, електромагнітні хвилі повинні виникати при прискореному русі електромагнітних зарядів.

Електромагнітні хвилі були вперше експериментально отримані Герцем в 1887 В дослідах Герца довжина хвилі складала декілька десятків сантиметрів. Обчисливши власну частоту електромагнітних коливань вібратора, Герц зміг визначити швидкість електромагнітної хвилі за формулою . Вона виявилася приблизно рівна швидкості світла:  $c = 300000 \text{ км/с}$ . Досвід Герца блискуче підтвердив прогнози Максвелла.

В Росії одним з перших почав вивчати електромагнітні хвилі викладач офіцерських курсів в Кронштадті Олександр Степанович Попов. Можливість практичного застосування електромагнітних хвиль для встановлення зв'язку без дротів була вперше продемонстрована 7 травня 1895 року. Цей день вважається днем народження радіо.

Електромагнітні хвилі викликали вимушені коливання струму і напруги в антені. Змінна [напруга з антени подавалася на два електроди](#), які були розташовані в скляній трубці, заповненій металевою тирсою. Ця трубка і є когерер. Послідовно з когерером включалися реле і джерело постійного струму.

Через погані контакти між тирсою опір когерера зазвичай великий, тому електричний струм в ланцюзі малий і реле дзвінка не замикає. Під дією змінної напруги високої частоти в когерере виникають електричні розряди між тирсою, частинки тирси спекаються і його опір зменшується в 100 - 200 разів. Сила струму в катушці електромагнітного реле зростає, і реле включає електричний дзвінок. Так реєструється прийом електромагнітної хвилі

антенною. Удар молоточка дзвінка струшує тирсу і повертає його в початковий стан, приймач знову готовий до реєстрації електромагнітної хвилі антенною.

Сучасні радіоприймачі зовсім несхожі на [свого прабатька](#), але принцип дії залишився той самий, що і в приймачі Попова. Сучасний приймач також має антену, в якій хвиля, що приходить, викликає дуже слабкі магнітні коливання. Як і в приймачі Попова, енергія цих коливань не використовується безпосередньо для прийому. Приглушені сигнали лише керують джерелами енергії, які живлять наступні ланцюги. Зараз таке керування здійснюється за допомогою напівпровідникових приладів.

В 1899 році була знайдена можливість прийому сигналів за допомогою телефону. На початку 1900 року радіозв'язок був успішно використаний під час рятувальних робіт у Фінській затоці. За участю Попова розпочалося впровадження радіозв'язку на флоті і в армії Росії.

Найважливішим етапом розвитку радіозв'язку було створення в 1913 році генератора незгасаючих електромагнітних коливань.

## **Радіохвилі**

Як вже зазначалося, радіохвилі можуть значно відрізнятися по довжині - від декількох сантиметрів до сотень і навіть тисяч кілометрів, що можна порівняти з радіусом Земної кулі (близько 6400 км). Хвилі всіх радіодіапазонів широко використовуються в техніці - дециметрові і ультракороткі метрові хвилі застосовуються для телемовлення та радіомовлення в діапазоні ультракоротких хвиль з частотною модуляцією (УКВ / FM), забезпечуючи високу якість прийому сигналу в межах зони прямого поширення хвиль. Радіохвилі метрового і кілометрового діапазону застосовуються для радіомовлення та радіозв'язку на великих відстанях з використанням амплітудної модуляції (АМ), яка, хоч і на шкоду якості сигналу, забезпечує його передачу на як завгодно великі відстані в межах Землі завдяки відображенню хвиль від іоносфери планети. Втім, сьогодні цей вид зв'язку відходить у минуле завдяки розвитку супутникового зв'язку. Хвилі дециметрового діапазону не можуть огинати земну горизонт подібно метровим хвилям, що обмежує зону прийому областю прямого поширення, яка, залежно від висоти антени і потужності передавача, становить від кількох до декількох десятків кілометрів. І тут на допомогу приходять супутникові ретранслятори, які беруть на себе ту роль відбивачів радіохвиль, яку відносно метрових хвиль грає іоносфера.

## **Мікрохвилі**

Мікрохвилі і радіохвилі діапазону надвисоких частот (НВЧ) мають довжину від 300 мм до 1 мм. Сантиметрові хвилі, подібно дециметровому і метровим радіохвилям, практично не поглинаються атмосферою і тому широко використовуються в супутникового і стільникового зв'язку та інших телекомунікаційних системах. Розмір типової супутникової тарілки якраз дорівнює кільком довжинах таких хвиль.

Більш короткі СВЧ-хвилі також знаходять безліч застосувань в промисловості і в побуті. Досить згадати про мікрохвильові печі, якими сьогодні оснащені і промислові хлібопекарні, і домашні кухні. Дія мікрохвильової печі ґрунтується на швидкому обертанні електронів в пристрої, який називається клістрон. У результаті електрони випромінюють електромагнітні СВЧ-хвилі певної частоти, при якій вони легко поглинаються молекулами води. Коли ви ставите їду в мікрохвильову піч, молекули води, що містяться в їжі, поглинають енергію мікрохвиль, рухаються швидше і таким чином розігрівають їжу. Іншими словами, на відміну від звичайної духовки або печі, де їжа розігрівається зовні, мікрохвильова піч розігріває її зсередини.

## **Інфрачервоні промені**

Ця частина електромагнітного спектра включає випромінювання з довжиною хвилі від 1 міліметра до восьми тисяч атомних діаметрів (близько 800 нм). Промені цієї частини спектра людина відчуває безпосередньо шкірою - як тепло. Якщо ви протягуєте руку в напрямку вогню або розпеченого предмета і відчуваєте жар, що виходить від нього, ви сприймаєте як жар саме інфрачервоне випромінювання. У деяких тварин (наприклад, у норних гадюк) є навіть органи чуття, що дозволяють їм визначати місцезнаходження теплокровної жертви з інфрачервоного випромінювання її тіла.

Оскільки більшість об'єктів на поверхні Землі випромінює енергію в інфрачервоному діапазоні хвиль, детектори інфрачервоного випромінювання відіграють важливу роль у сучасних технологіях виявлення. Інфрачервоні окуляри приладів нічного бачення дозволяють людям «бачити в темряві», і з їх допомогою можна виявити не тільки людей, але і техніку, і споруди, нагріті за день і що віддають вночі своє тепло в навколишнє середовище у вигляді інфрачервоних променів. Детектори інфрачервоних променів [широко використовуються рятувальними службами](#), наприклад, для виявлення живих

людей під завалами після землетрусів чи інших стихійних лих і техногенних катастроф.

## **Видиме світло**

Як вже говорилося, довжини електромагнітних хвиль видимого світлового діапазону коливаються в межах від восьми до чотирьох тисяч атомних діаметрів (800-400 нм). Людське око є ідеальний інструмент для реєстрації та аналізу електромагнітних хвиль цього діапазону. Це обумовлено двома причинами. По-перше, як зазначалося, хвилі видимої частини спектру практично безперешкодно поширюються в прозорій для них атмосфері. По-друге, температура поверхні Сонця (близько 5000 ° С) така, що пік енергії сонячних променів припадає саме на видиму частину спектру. Таким чином, наше головне джерело енергії випромінює величезну кількість енергії саме у видимому світловому діапазоні, а навколишня середа значною мірою прозора для цього випромінювання. Не дивно тому, що людське око в процесі еволюції сформувався таким чином, щоб вловлювати і розпізнавати саме цю частину спектру електромагнітних хвиль.

Нічого особливого з фізичної точки зору в діапазоні видимих електромагнітних променів немає. Він являє собою всього лише вузьку смужку в широкому спектрі випромінюваних хвиль. Для нас він настільки важливий лише остільки, оскільки людський мозок оснащений інструментом для виявлення й аналізу електромагнітних хвиль саме цієї частини спектру.

## **Ультрафіолетові промені**

До ультрафіолетовим променям відносять електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від декількох тисяч до декількох атомних діаметрів (400-10 нм). У цій частині спектру випромінювання починає впливати на життєдіяльність живих організмів. М'які ультрафіолетові промені в сонячному спектрі (з довжинами хвиль, які наближаються до видимої частини спектру), наприклад, викликають в помірних дозах засмага, а в надлишкових - важкі опіки. Жорсткий (короткохвильової) ультрафіолет згубний для біологічних клітин і тому використовується в медицині для стерилізації хірургічних інструментів та медичного обладнання, вбиваючи всі мікроорганізми на їх поверхні.

Все живе на Землі захищене від згубного впливу жорсткого ультрафіолетового випромінювання озоновим шаром земної атмосфери, що поглинає велику частину жорстких ультрафіолетових променів у спектрі

сонячної радіації. Якби не цей природний щит, життя на Землі навряд чи б вийшла на сушу з вод Світового океану. Однак, [незважаючи на захисний озоновий шар](#), якась частина жорстких ультрафіолетових променів досягає поверхні Землі і здатна викликати рак шкіри, особливо у людей, від народження схильних до блідості і погано загоряють на сонці

## **Рентгенівські промені**

Випромінювання в діапазоні довжин хвиль від декількох атомних діаметрів до декількох сот діаметрів атомного ядра називається рентгенівським. Рентгенівські промені проникають крізь м'які тканини організму і тому незамінні в медичній діагностиці. Як і у випадку з радіохвилями часовий розрив між їх відкриттям у 1895 році і початком практичного застосування, що ознаменувався отриманням в одній з паризьких лікарень першого рентгенівського знімка, склав лічені роки.

## **Гамма-промені**

Найкоротші по довжині хвилі і найвищі за частотою і енергії промені в електромагнітному спектрі - це  $\gamma$ -промені (гамма-промені). Вони складаються з фотонів надвисоких енергій і використовуються сьогодні в онкології для лікування ракових пухлин (а точніше, для умиротворення ракових клітин). Проте їх вплив на живі клітини настільки згубно, що при цьому доводиться дотримуватися крайню обережність, щоб не заподіяти шкоди оточуючим здоровим тканинам і органам.

Всі описані типи електромагнітного випромінювання проявляють себе зовні по-різному, за своєю суттю вони є близнятами. Всі електромагнітні хвилі в будь-якій частині спектра представляють собою поширюються у вакуумі або середовищі поперечні коливання електричного і магнітного полів, всі вони поширюються у вакуумі зі швидкістю світла  $c$  і відрізняються один від одного лише довжиною хвилі  $\lambda$ , як наслідок, енергією, яку вони переносять. Зокрема, мікрохвильові випромінювання з великими довжинами хвиль нерідко ставляться до надвисокочастотні діапазону радіохвиль. Відсутні чіткі межі і між жорстким ультрафіолетовим і м'яким рентгенівським, а також між жорстким рентгенівським і м'яким гамма-випромінюванням.

Живі об'єкти випромінюють електромагнітні хвилі. Клітини, тканини і органи є структурами з точними електричними характеристиками. Рух зарядів в організмі людини пов'язано з метаболічними процесами, що



відбуваються в організмі. Величезна кількість біохімічних реакцій супроводжується різноманітними частотними характеристиками власного електромагнітного випромінювання.

Людина «приручає» електромагнітні хвилі, створює все більш безпечні побутові прилади, адже знання природи впливу електромагнітних хвиль на організм людини, норм допустимих опромінь, методів контролю інтенсивності випромінювань і засобів захисту від них є абсолютно необхідним для подальшого успішного їх застосування все в більш нових галузях науки і техніки.

## Домашнє завдання.

### 1. Відповісти на запитання у робочому зошиті:

1. Чи можна, перетворивши звукові коливання на електричні, подавати їх на антену й здійснювати в такий спосіб передавання по радіо мови або музики?

2. Чому не можна прийняті й підсилені електромагнітні коливання подавати в гучномовець?

3. У чому полягає відмінність радіомовлення від радіотелефонного зв'язку?

4. На чому базується принцип радіозв'язку?

5. У чому полягає процес модуляції?

6. У чому полягає процес детектування?

### 2. Записати розв'язування задач у робочий зошит.

1. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 10 пФ й котушки індуктивністю 3 мГн. Визначити частоту електромагнітних коливань у контурі.

Дано:	СІ	Розв'язання
$C=10\text{пФ}$	$10^{-11}\text{Ф}$	Частота гармонічних коливань і період пов'язані співвідношенням $T=1/\nu$ .
$L=3\text{мГн}$	$3 \cdot 10^{-3}\text{Гн}$	
$\nu=?$		Період коливань у коливальному контурі визначається за формулою Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , тоді $\nu=1/2\pi\sqrt{LC}$ ;
		$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{3 \cdot 10^{-3}\text{Гн} \cdot 10^{-11}\text{Ф}}} = 9,2 \cdot 10^5\text{Гц.}$

Відповідь:  $9,2 \cdot 10^5\text{Гц}$ .

2. Визначити період електромагнітних коливань у контурі, якщо максимальний електричний заряд конденсатора 5 мкКл, а максимальна сила струму 20 мА.

Дано:	СІ	Розв'язання
$q_{\max}=5\text{мкКл}$	$5 \cdot 10^{-6}\text{Кл}$	За визначенням сила струму прямо пропорційна заряду й обернено пропорційна часу $t$ , протягом якого заряд рухається по провіднику, тоді
$I_{\max}=20\text{мА}$	$2 \cdot 10^{-2}\text{А}$	
$T=?$		



$$t = \frac{q}{I}, \quad \text{а} \quad T = 2\pi t, \quad \text{тоді} \quad T = 2\pi \frac{q}{I};$$

$$T = 2 \cdot 3,14 \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{Кл}}{2 \cdot 10^{-2} \text{А}} = 15,7 \cdot 10^{-4} \text{с}.$$

Відповідь:  $15,7 \cdot 10^{-4} \text{с}$ .