

7. ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ВЪЛНИ

Генерация на електромагнитни вълни.

Честотна скала на електромагнитните вълни. Оптичен спектрален диапазон. Видима, ултравиолетова и инфрачервена част на спектъра.

1. Вълни. Определение. Видове вълни.

Разпространение на трептене в пространството с течение на времето се нарича вълнообразен процес или само вълна. Ако трептенето е механично, вълната е механична, ако е електромагнитно – вълната е електромагнитна. Механично трептене може да се разпространява само в еластична среда (при нея между съседните частици има достатъчно големи сили на взаимодействие). Електромагнитните вълни се разпространяват и във вакуум.

Геометричното място на точки, до които в даден момент е достигнала вълната се нарича фронт на вълната. Ако фронтът е част от равнина вълната се нарича плоска, а ако е част от сфера, вълната е сферична. Сферични вълни се получават при трептене на точков източник в изотропно пространство (в такова пространство скоростта на разпространение на вълната е една и съща във всички посоки). При неизотропна среда или неточков източник фронтът на вълната е сложна повърхност. При разпространение в пространството на хармонично трептене вълната се нарича **хармонична**.

При вълните се въвеждат две направления: направление на трептене на частиците на средата (при механичните вълни) или на интензитетите \vec{E} и \vec{H} (при електромагнитните вълни) и направление на разпространение. **Ако направлението на трептене е перпендикулярно на направлението на разпространение, вълната се нарича напречна.** При съвпадение на направлението на трептене с това на разпространение вълната е надлъжна.

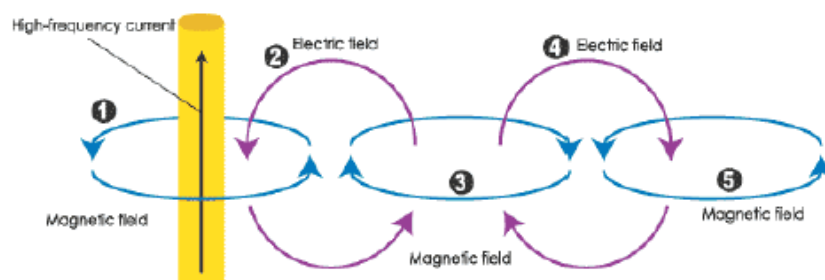
Скоростта на разпространение е **скорост на разпространение на енергия** – механична енергия при механичните вълни или електромагнитна енергия при електромагнитните вълни. Електромагнитни вълни, които се възприемат от човешкото око се наричат **светлинни вълни** или само **светлина**.

2. Електромагнитни вълни .Същност.

Разпространяващи се в пространството взаимно свързани електрични и магнитни полета, които се изменят във времето, се наричат електромагнитни вълни.

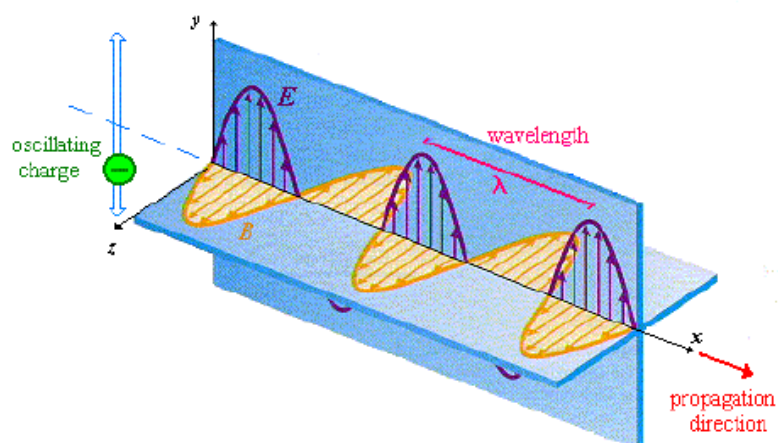
Източници на електромагнитни вълни са движещите се с ускорение електрични заряди. Веднъж възникнало в пространството електромагнитното поле съществува независимо от своя източник – фиг. 6.1.

Generation of electromagnetic waves



Фиг. 1. Взаимно свързани електрично и магнитно поле, създадени от движещи се с ускорение електрични заряди.

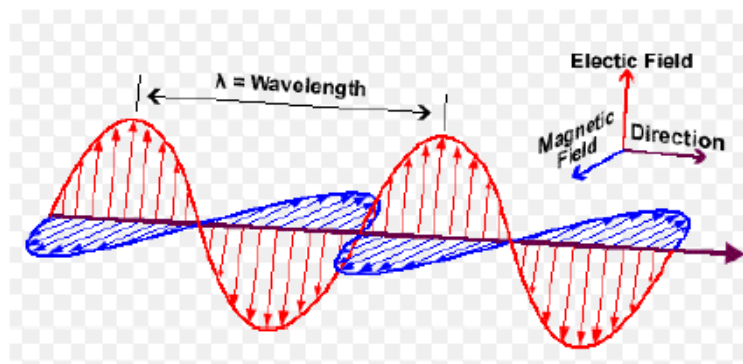
При хармоничната електромагнитна вълна хармонични трептения извършват интензитетът на електричното поле \vec{E} и интензитетът на магнитното поле \vec{H} . В дадена точка от пространството двата вектора се изменят с времето синфазно. Това означава, че едновременно достигат максималните си стойности и едновременно стават равни на нула. Трептенията се извършват в две взаимно перпендикулярни направления, в равнина перпендикулярна на скоростта на разпространение \vec{V} (фиг. 6.2).



Фиг. .2. Схема на характера и разпространението на електромагнитна вълна.

В непроводяща среда векторите \vec{E} и \vec{H} трептят във фаза, като във всеки момент \vec{V} , \vec{E} и \vec{H} образуват дясна тройка в показаната последователност.

От казаното следва, че електромагнитните вълни са винаги напречни вълни, т.е. направленията на трептене на \vec{E} и \vec{H} са перпендикулярни на направление на разпространение, определено от скоростта на разпространение.



Фиг. 3. Схема, показваща връзката между интензитетите на електричното E , магнитното поле H и посоката на разпространение на електромагнитна вълна.

Електромагнитна вълна, за която големините на векторите \vec{E} и \vec{H} се изменят с течение на времето по синусов закон с една и съща кръгова честота ω , се нарича хармонична или монохроматична вълна.

Терминът монохроматична означава едноцветна и е свързан със субективното възприемане на светлината от човешкото око.

Монохроматична електромагнитна вълна, чийто фронт е равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение на вълната, се нарича плоска монохроматична електромагнитна вълна.

Механизмът на разпространение на електромагнитната вълна е следния: при промяна на магнитното поле в съседство се създава вихрово електрично поле, при промяна на електричното поле се създава магнитно поле и т. н..

Скоростта V на разпространение на електромагнитните вълни се определя от израза

$$V = c / \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}, \quad (6.2)$$

където ϵ_r и μ_r са съответно относителната диелектрична и магнитна проницаемост на средата, c е скоростта на разпространение на електромагнитните вълни във вакуум. Тази скорост е универсална физична константа, като $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, където ϵ_0 и μ_0 са съответно диелектричната и магнитната проницаемост на вакуума.

Основното уравнение $V = \lambda \cdot \nu$ важи и за електромагнитните вълни. За вакуум то има вида $c = \lambda \cdot \nu$. Дължината λ на електромагнитната вълна във вакуум често се използва като нейна характеристика наред с честотата ν .

Всички взаимодействия на електромагнитната вълна с веществото се определят от електричното ѝ поле. Това позволява при записване на уравнението на електромагнитната вълна формално да се използва само интензитетът \vec{E} на електричното поле, т.е. първото уравнение на (6.1). Не бива да се забравя обаче, че действителното уравнение на електромагнитната вълна е взаимосвързаната комбинация на законите на трептене на \vec{E} и \vec{H} , изразени чрез (6.1).

3. Енергия и интензитет на електромагнитна вълна.

Електромагнитните вълни, както и механичните пренасят енергия. Енергия на електромагнитната вълна се нарича плътността на енергията ω_B на електромагнитното поле. Тази плътност е сума от плътността ω_E на енергията на електричното поле, като $\omega_E = \epsilon_r \epsilon_0 E^2 / 2$, и плътността ω_M на енергията на магнитното поле - $\omega_M = B^2 / 2\mu_r \mu_0 = \mu_r \mu_0 H^2 / 2$. ($B = \mu_r \mu_0 H$ е индукцията на магнитното поле). От казаното следва

$$\omega_B = \omega_E + \omega_M = (\epsilon_r \epsilon_0 E^2 / 2) + (\mu_r \mu_0 H^2 / 2). \quad (6.3)$$

Интензитетът \vec{I} на електромагнитната вълна (плътността на енергетичния поток през площ перпендикулярна на скоростта на разпространение \vec{V}) се определя от произведението на плътността на електромагнитната енергия и скоростта на разпространение, т.е.

$$\vec{I} = \omega_B \vec{V} = [(\epsilon_r \epsilon_0 E^2 / 2) + (\mu_r \mu_0 H^2 / 2)] \vec{V}. \quad (6.4)$$

Показва се, че (6.4) може да се представи във вида

$$\vec{I} = \vec{E} \times \vec{H}, \quad (6.5)$$

като вектора \vec{I} се нарича **вектор на Пойнтинг**. Този вектор е насочен по посока на скоростта на разпространение на вълната, като \vec{I} , \vec{E} и \vec{H} , взети в тази последователност, образуват дясно ориентирана тройка.

Векторът на Пойнтинг \vec{I} представлява плътност на потока на енергията на електромагнитната вълна. Големината на този вектор е равна на енергията, преминала за единица време през единица площ, разположена перпендикулярно на посоката на разпространение на бягащата електромагнитна вълна. Посока на вектора на Пойнтинг съвпада с посоката на разпространение на електромагнитната вълна, т.е. с посоката, в която се предава енергията.

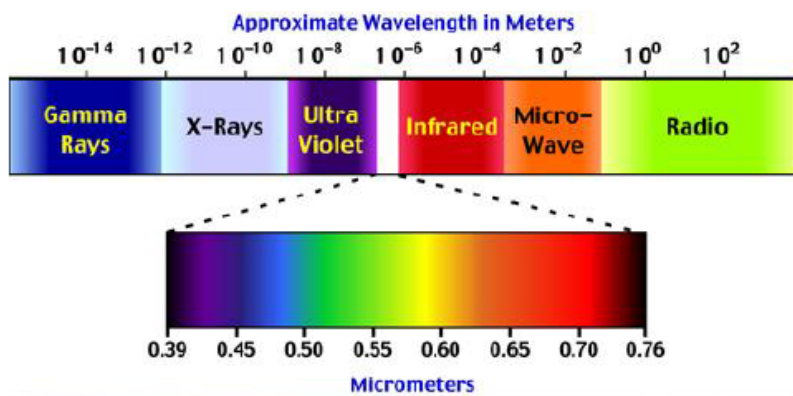
4. Спектър на електромагнитните вълни.

Електромагнитните вълни имат твърде широк диапазон от честоти – фиг. 6.4, фиг. 6.5, табл. 1. Обикновено те се класифицират по дължината на вълната и се разделят на няколко области:

– **Диапазон на дългите радиовълни** ($10^4 \div 10^2$ m); използва се най-много за радиовръзки. Основният недостатък на разглежданите радиовълни се дължи на факта, че йоносферата (въздушният слой с повишена концентрация на заредени частици, който има височина 100÷300 km над земната повърхност) ги поглъща. По тази причина те не са ефективни за радиовръзка на големи разстояния. Използват се повече за радиовръзки в подводния флот.

– **Диапазон на средните и късите радиовълни** ($10^2 \div 10$ m); използва се основно за радиосъобщения. За разлика от дългите вълни тези вълни се отразяват от йоносферата. Вследствие на многократно отражение от нея те могат да обходят земното кълбо и да осигурят далечна радиовръзка.

– **Метров диапазон** ($10 \div 1 \text{ m}$); използва се за телевизия и радиолокация. В телевизията е необходимо да се предават на големи разстояния не само звукови сигнали, но и изображения. Всяко изображение посредством фотоелектронен преобразувател се превръща в редица от електрични сигнали. Вълните от този диапазон се разпространяват добре през йоносферата и не се връщат към повърхността на Земята. Поради това, за да се увеличи разстоянието на телепредаванията, излъчвателите на телевизионните станции трябва да се поставят на много високи места (телевизионни кули). В днешно време на специално избрани околоземни орбити се изпращат спътници, които постоянно се намират над определени райони и служат за ретранслация на телевизионните предавания.



Фиг. .4. Спектър на електромагнитните вълни.

– **Сантиметров диапазон** ($1 \div 10^{-2} \text{ m}$); използват се в авиацията за точна и близка радиолокация. Вълните от сантиметровия диапазон се поглъщат силно от веществото, поради което са удобни за изучаване на неговите свойства.

– **Милиметров (микровълнов) диапазон** ($10^{-2} \div 10^{-3} \text{ m}$); използва се за точна радиолокация и за научни цели. При изучаване на поглъщането на микровълните от многоатомните молекули се получава информация за строежа им. С помощта на този метод неотдавна е открито, че в Космоса съществуват не само прости молекули като амоняк, водород и др., но и молекули на сложни съединения – аминокиселини. Общият брой на откритите сложни молекули достига около 200.

– **Инфрачервен диапазон** ($10^{-3} \div 10^{-6} \text{ m}$); използва се при изучаване вътрешната структура на веществата – определяне на вида на взаимодействието между молекулите, характера на движението на ядрата в атомите и др.

– **Видима светлина** ($7.5 \times 10^{-7} \div 4 \times 10^{-7} \text{ m}$); – електромагнитните вълни, които се възприемат от зрителния орган на човека, и включва почти цялата информация, която той получава за заобикалящия го свят.

– **Ултравиолетов диапазон** ($4 \times 10^{-7} \div 10^{-7} \text{ m}$); тези вълни имат способността да въздействат много силно на веществото. Поради силното си взаимодействие с веществото ултравиолетовото излъчване на Слънцето се поглъща почти напълно (99%) от атмосферата и по този начин се предпазва Земята.

Ултравиолетовият диапазон често се разделя на:

- Ултравиолет А – от 390 до 315 nm;
- Ултравиолет В – от 315 до 280 nm;
- Ултравиолет С – от 280 до 100 nm, като под 200 nm до 100 nm се нарича вакуумен ултравиолет, тъй като се поглъща силно от въздуха.

Влиянието на ултравиолетовото лъчение върху човека е сложно – то е полезно, тъй като осигурява синтеза на витамин D в човешкия организъм (в лъчистия поток от Слънцето основно присъства лъчение от типа А и по-малко В). Прекаленото излагане на ултравиолетово лъчение може да доведе до развитие на злокачествени заболявания на кожата.

Лъчението от тип С има силно бактерицидно действие и се използва за обеззаразяване.

- Диапазон на рентгеновите лъчи и гама-лъчите ($\lambda < 10^{-7}$ m);
Рентгеновото излъчване се използва в медицината за рентгенова диагностика, а в техниката за откриване на различни дефекти в материалите (рентгенова дефектоскопия). Гама-лъчите поради голямата си проникваща способност ($f > 10^{20}$ Hz) намират приложение за изследване на структурата на ядрата.

5. Откриване на електромагнитните вълни. Вибратор на Херц.

През 1864 година английският физик Джеймс Максвел е първият, който обединява четирите основни уравнения на електромагнетизма в обща система.

Той предсказва, че изменението на електричното поле води до появата на изменящо се магнитно поле. То от своя страна предизвиква появата на ново променливо електрично поле и т.н. Резултатът е разпространяващо се в пространството променливо електромагнитно поле.

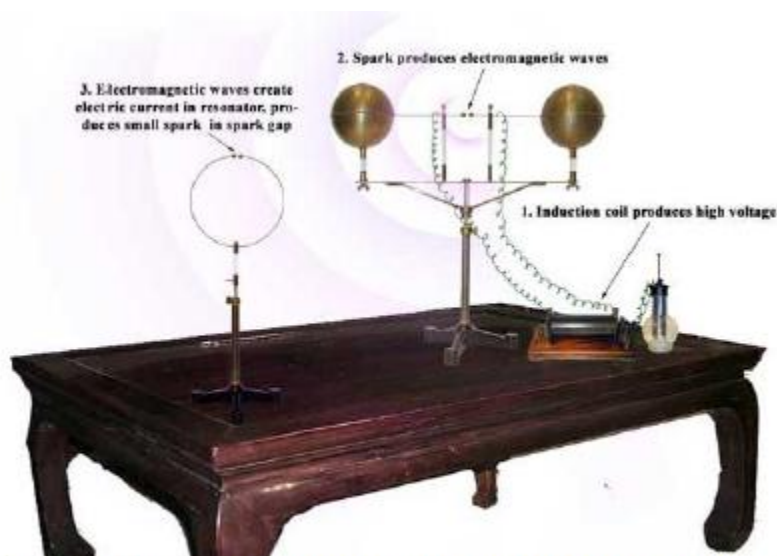
Освен това Максвел показва, че вълните, създадени от колебаещи се електрически и магнитни полета, се разпространяват във вакуум със скорост, която може да бъде предсказана с прости експерименти. Използвайки тогавашните данни, Максвел получил скорост от 310 740 000 m/s.

Максуел (1865) пише:

„Тази скорост е толкова близка до тази на светлината, че изглежда имаме сериозна причина да заключим, че самата светлина е електромагнитно смущение във формата на вълни, разпространявано посредством електромагнитно поле и според законите за електромагнетизма.“

Максуел се оказва прав в това предположение, въпреки че не доживява неговото потвърждение (от [Хайнрих Херц](#), който между другото е отричал наличието на електромагнитни вълни, през 1888).

Електромагнитните вълни са открити експериментално от Хайнрих Херц през 1887 година (8 години след смъртта на Максвел). За своите изследвания Херц конструира открит vibrator – фиг. 6.6, съставен от две еднакви пръчки, разделени с искрова междина. Пръчките се зареждат от източник на високо напрежение. При определена стойност на напрежението настъпва електрически пробив във въздуха между пръчките и протича искров разряд. При прескачане на искрата се пораждат електромагнитни трептения с висока честота. За приемане на електромагнитните трептения Херц използва втори vibrator – фиг.6.6. Под действие на електромагнитните вълни в него се индуцират високочестотни токове, които могат да се регистрират по прескачането на искра. С помощта на такива вибратори Херц потвърждава експериментално основните изводи в теорията на Максвел.



Фиг. 5. Експерименталната апаратура на Херц.