

# 11. ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ТРЕПТЕНИЯ И ВЪЛНИ

## 1. Електромагнитни трептения.

Нека въведем следните основни понятия във физиката:

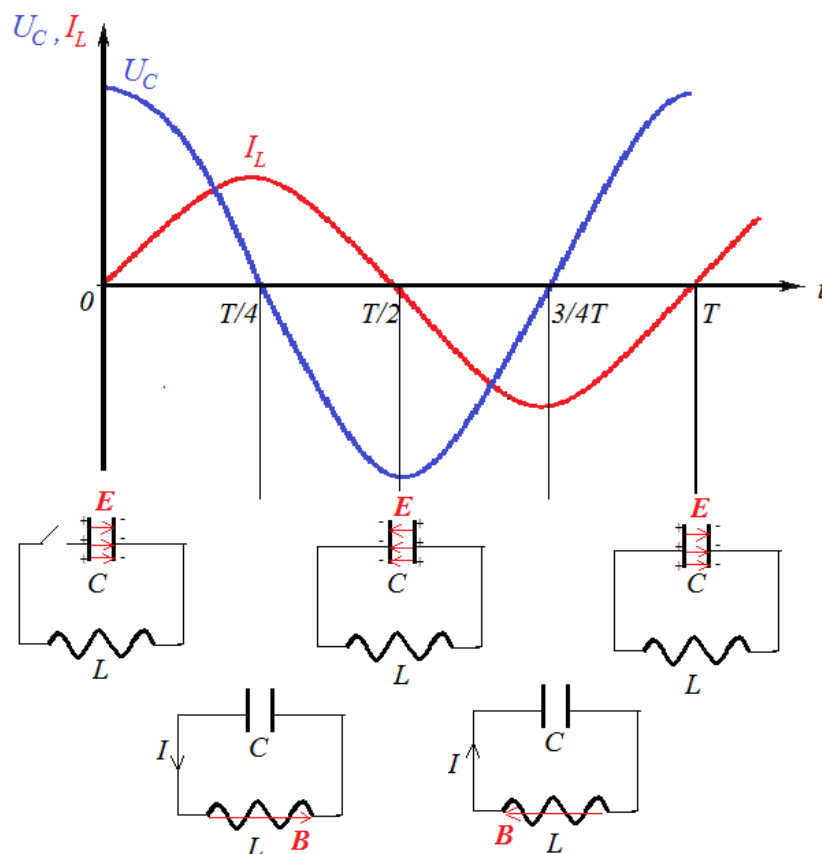
- **Трептения** – повтарящите се движения или изменения на състоянието на системата около едно равновесно състояние.
- **Хармонични трептения** – трептящата величина се изменя по синусоидален (или косинусоидален) закон.
- **Електромагнитни трептения** – периодични изменения, при които трептящата величина има електромагнитна физична природа. Такива са периодичните изменения на тока в електрическа верига, на заряда в кондензатор, на електричните и магнитните полета и др.

## 2. Свободни електромагнитни трептения

В най-простия случай електромагнитни трептения възникват в **идеален затворен трептящ кръг** – затворена верига с пренебрежимо малко омово съпротивление, състояща се от кондензатор с капацитет  $C$  и намотка с индуктивност  $L$ . Еднократното внасяне на енергия в кръга чрез зареждане на кондензатора или чрез индуциране на ток в намотката води до появата на незатихващи трептения. Зарядът и напрежението на кондензатора, както и токът през намотката се изменят периодично с времето по синусоидален закон. В такава система **възникват свободни или собствени електромагнитните трептения**.

**Собствената честота** на трептенията се определя от параметрите на кръга по формулата:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

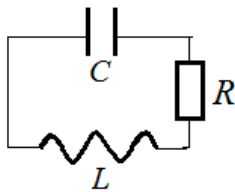


В трептящия кръг става периодично преобразуване на енергията на електричното поле в кондензатора  $E_C$  в енергия на магнитното поле в намотката  $E_L$  и обратно:

$$E_C = \frac{q^2}{2C} \Leftrightarrow E_L = \frac{LI^2}{2}$$

Електромагнитните трептения в идеален затворен трептящ кръг ( $R=0$ ) са незатихващи.

### 3. Затихващи електромагнитни трептения



Всеки реален трептящ кръг има и омово съпротивление – например съпротивлението на намотката  $R$ .

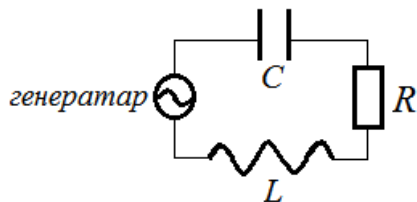
Съгласно закона на Джаул-Ленц, при протичане на ток в такава верига се отделя топлина, пропорционална на  $R$ . Така част от електромагнитната енергия на трептящия кръг се превръща във вътрешна енергия на проводника и околната среда. Затова след един период кондензаторът не се презарежда до началното напрежение, а токът през намотката не достига първоначалната максимална стойност. Така амплитудите на тока и напрежението намаляват и трептенията са затихващи.

Загубите се характеризират с Q- фактора:

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E},$$

където  $E$  е енергията на трептящия кръг в даден момент време  $t$ , а  $\Delta E$  е енергията, която се губи за един период време от  $t$  до  $t+T$ .

### 4. Принудени електромагнитни трептения

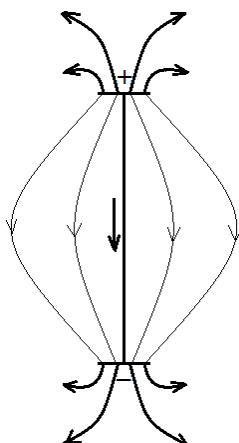


В трептящия кръг могат да се възбудят незатихващи принудени електромагнитни трептения чрез периодично внасяне на енергия, например ако във веригата се включи генератор или източник на променливо ЕДН.

Честотата на възникналите принудени електромагнитни трептения  $\nu$  е равна на честотата, с която се изменя ЕДН на генератора. Това означава, че електричните величини във веригата се изменят с тази честота.

Трептенията са незатихващи, защото от генератора се черпи електрична енергия, която компенсира топлинните загуби при протичането на електричен ток във веригата.

Амплитудата на тока в трептящия кръг зависи от честотата  $\nu$  на генератора и тя е максимална когато тази честота е равна на собствената честота на трептящия кръг  $\nu_0$ . Тогава в трептящия кръг настъпва **резонанс**.



### 5. Отворен трептящ кръг

Електромагнитни трептения могат да се възбудят и в отворен трептящ кръг. Когато електродите на кондензатора са раздалечени и намотката е разтегната се получава отворен трептящ кръг или **излъчвателна антена**. Трептенията възникват, защото всеки проводник притежава определена индуктивност, а в отделните му части могат да се нарупват заряди.

Ако в началния момент кондензаторът е зареден, в пространството съществува само електрично поле. Когато

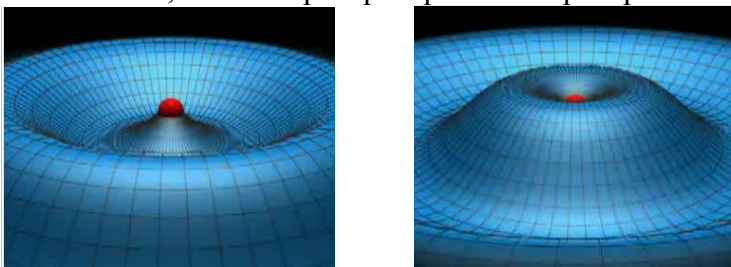
кондензаторът започне да се разрежда, по проводника протича ток, който създава магнитно поле. Токът и магнитното поле се променят. Така променливото магнитно поле поражда променливо електрично поле и променливото електрично поле поражда променливо магнитно поле.

Така електромагнитните трептения в антената пораждат в пространството електромагнитно поле.

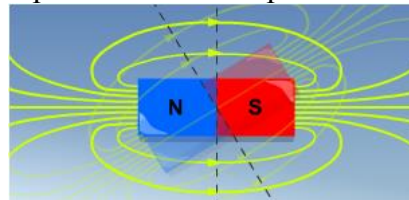
## 6. Електромагнитни вълни

Разпространяващите се в пространството промени на електромагнитното поле се наричат **електромагнитни вълни**.

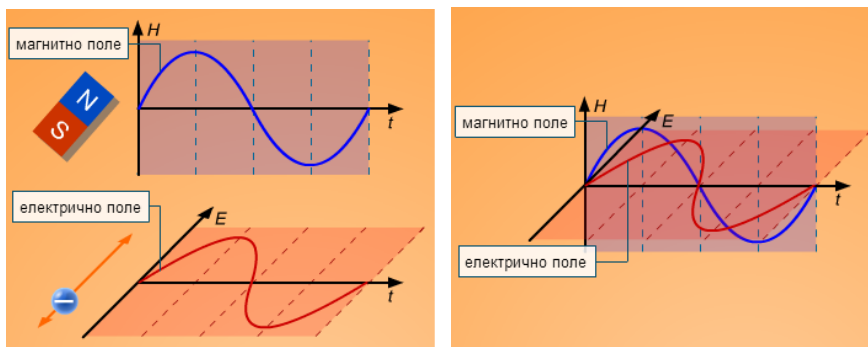
Движението на един заряд предизвиква промяна в собственото му електрично поле. Тази промяната след това се разпространява в пространството, носейки информация за промяната в мястото на заряда. Трептящият заряд е източник на **електрична вълна**, която се разпространява в пространството с определена скорост.



Движещият се електричен заряд създава и променливо магнитно поле, което се разпространява в пространството като **магнитна вълна**. Такова променливо магнитно поле е аналогично на магнитното поле, създадено от движещ се постоянен магнит. Тази промяна не настъпва едновременно в цялото пространство - тя се пренася с определена скорост, отдалечавайки се движещия се заряд или магнит. Тази скорост е равна на скоростта на разпространение на промените в електричното поле.



Променливото електрично поле генерира променливо магнитно поле. Следователно всякакви промени в електричното поле водят до промени в магнитното поле. Не е възможно да разделим електричната от магнитната вълна, т.к. те винаги се появяват едновременно. Следователно ние ги разглеждаме като едно явление – **електромагнитна вълна**.



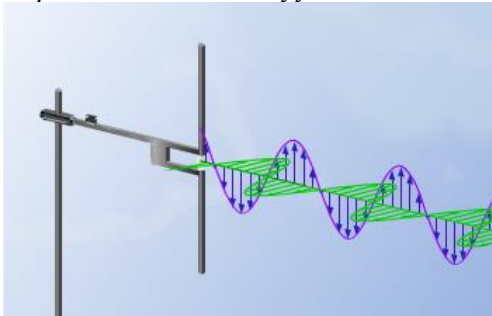
а) Източници на електромагнитните вълни са трептящите или движещите се с ускорение електрични заряди, които създават променливо електромагнитно поле. Трептенията на електричните заряди могат да стават по различен начин. Трептения с относително ниски честоти ( $\nu = 10^6 \text{ Hz}$ ) могат да станат в електрическите трептящи кръгове и електромагнитни вълни се излъчват от отворен трептящ кръг – предавателна антена. Електромагнитни вълни с много високи честоти (видима светлина -  $\nu = 10^{15} \text{ Hz}$ ) могат да се излъчат от трептящите електрони на атомите и молекулите.

б) Промените на електричното и на магнитното поле не се разпространяват мигновено в пространството, а с крайна скорост, наречена скорост на електромагнитната вълна, която зависи от средата.

Скоростта на електромагнитната вълна във въздух или вакуум е  $c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , измерена за пръв път от Хайнрих Херц. Тъй като такава е и скоростта на светлината във вакуум, Максвел предположил, че светлината е електромагнитна вълна.

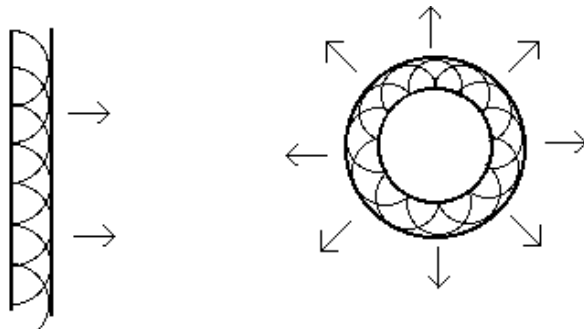
В други среди с диелектрична проницаемост  $\epsilon$  и магнитна проницаемост  $\mu$  скоростта е по малка и е:  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$ .

За разлика от механичните вълни електромагнитните вълни се разпространяват и във вакуум.



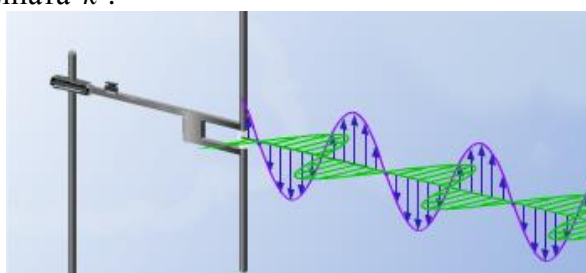
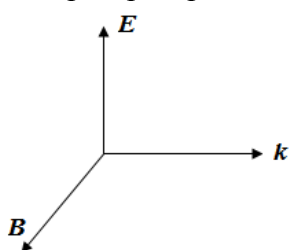
в) Електромагнитната вълна е **бягаща вълна**, която с отдалечаване от своя източник пренася енергия. Колкото по-далече от източника се разпространява вълната, толкова върху по-голяма площ се разпределя енергията и електричното поле отслабва. Излъчването на енергия е толкова по-ефективно, колкото по-голяма е честотата на електромагнитните трептения.

г) Бягащата електромагнитната вълна може да е плоска или сферична в зависимост от вида на повърхността, разделяща възбудената от не възбудената част на пространството, т. нар. вълнов фронт.



д) Електромагнитната вълна е **напречна вълна**.

Всяка точка от променливото електромагнитно поле се характеризира с вектора на интензитета на електричното поле  $\vec{E}$  и с вектора на индукция на магнитното поле  $\vec{B}$ . Тези два вектора са винаги взаимно перпендикулярни и са перпендикулярни на посоката на разпространение на вълната  $\vec{k}$ .



е) Когато вълновият фронт е плоска равнина и трептенията на електричните заряди стават с точно определена честота, електромагнитната вълна се нарича **плоска монохроматична вълна**.

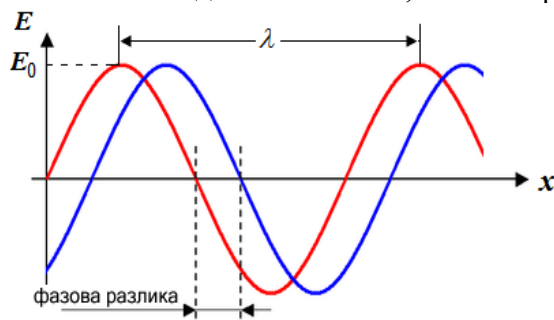
Интензитетът на електричното поле  $\vec{E}$  и индукцията на магнитното поле  $\vec{B}$  се изменят по синусов или косинусов закон. За интензитета може да се запише:

$$E = E_0 \cdot \cos(\varphi)$$

**Основните параметри**, описващи електромагнитната вълна, са амплитуда ( $E_0$ ), дължина на вълната ( $\lambda$ ), честота на вълната ( $\nu$ ) и фаза на вълната ( $\varphi$ ).

**Амплитудата** е максималната стойност на  $E$ , а **фазата на вълната** е аргументът на  $\cos$ .

Синята и червената вълни са с еднакви честоти, но имат фазово отместване.

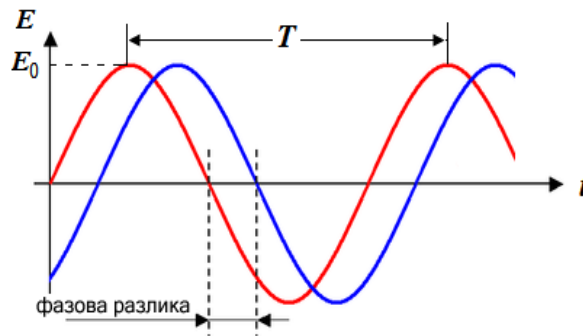


**Дължината на вълната** ( $\lambda$ ) - разстоянието между две най-близки (съседни) точки по оста  $x$ , за които интензитетът  $E$  в даден момент време ( $t = \text{const}$ ) е максимален.

**Период на вълната** ( $T$ ) – времето, за което вълната изминава това разстояние  $\lambda$ .

**Честота на вълната** ( $\nu$ ) – дефинира се като реципрочната стойност на периода  $T$ :

$$T = 1/\nu$$



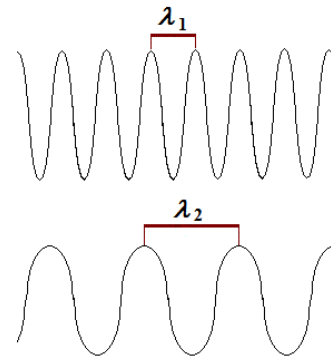
Зависимостта между честотата  $\nu$ , дължината на вълната  $\lambda$  и скоростта  $c$  на електромагнитната вълна се дефинира като:

$$c = \nu \cdot \lambda$$

Следователно, колкото е по-висока честотата на вълната, толкова е по-малка дължината ѝ.

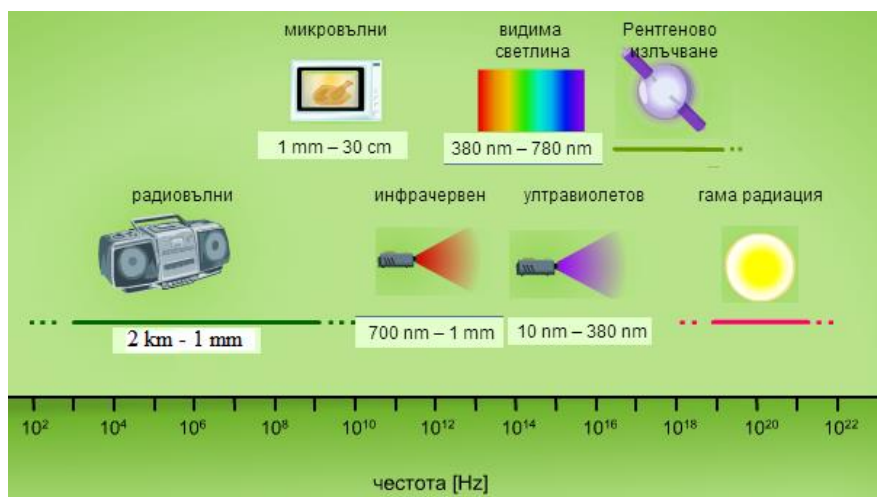
Дългите вълни имат ниска честота, а късите вълни имат висока честота.

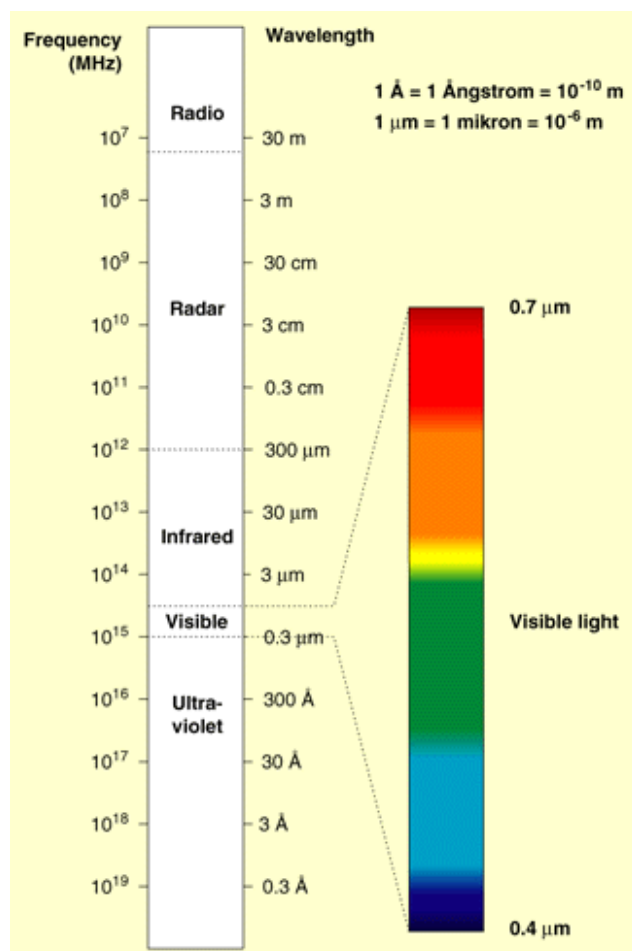
Ако  $\lambda_1 < \lambda_2$ , то  $\nu_1 > \nu_2$ .



## 7. Спектър на електромагнитните вълни

Поради разликите в честотите, метода на формиране и приложенията електромагнитните вълни са разделени на няколко диапазона. Всички диапазони заедно формират т.нар. спектър на електромагнитните вълни.





Част от фигурите са взaimствани от сайта <http://start.e-edu.bg/>, на който можете да наблюдавате и пълните анимации на някои от физичните явления.