

# **Elektromágneses rezgések és hullámok**

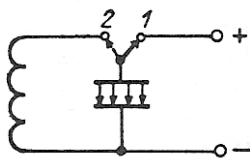
## **(Vázlat)**

1. Rezgőkör és elektromágneses rezgés
  - a) Rezgőkör fogalma
  - b) Energiaátalakulás rezgőkörben
  - c) Csillapítatlan és csillapított elektromágneses rezgések
  - d) Rezgőkör saját frekvenciája
  - e) Csatolt rezgések, induktív csatolás
2. Az elektromágneses hullámok
  - a) Maxwell elmélete
  - b) Hertz kísérlete
3. Az elektromágneses hullámok terjedési tulajdonságai
4. A teljes elektromágneses színekép
5. Az elektromágneses rezgésekkel és hullámokkal kapcsolatba hozható technikai alkalmazások
  - a) Kép- és hangrögzítés
  - b) Rádió és televízió adás-vétel
  - c) Mikrohullámú sütő
6. Fizikatörténeti vonatkozások

# Rezgőkör és elektromágneses rezgés

## a) Rezgőkör

**Rezgőkör**nek nevezzük a  $C$  kapacitású kondenzátorból és az  $L$  induktivitású tekercsből álló vezetőkört. Ha a vezetőkörben az ohmos ellenállás elhanyagolható, akkor *ideális rezgőkör*ről beszélünk.

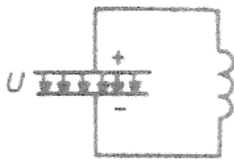


Ha a kondenzátort egyenáramú áramforrásra kapcsolva feltöltjük, akkor a fegyverzetek között elektromos tér keletkezik.

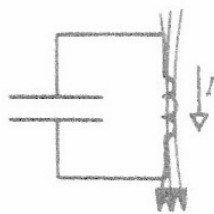
Ezt követően a kapcsolót az 1-es helyzetből a 2-be kapcsoljuk. Ilyenkor, ha középállású áramerősségmérő van a körben, az néhány lengést végez. Ez akkor figyelhető meg jól, ha nagy kapacitású és nagy induktivitású tekercsből készül a rezgőkör.

## b) Energiaátalakulás rezgőkörben

Nézzük meg, hogyan alakul át egymásba az elektromos és a mágneses mező energiája egy periódus alatt.



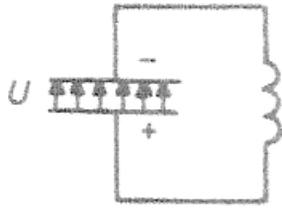
$t=0$  pillanatban a kondenzátor maximálisan fel van töltve. Ilyenkor a rezgőkör teljes energiamennyisége elektrosztatikus mező formájában a kondenzátor fegyverzetei között van. Ezt az energiát  $\frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$  összefüggéssel számolhatjuk ki.



A kondenzátor maximális feltöltődése utáni pillanatban megindul a kondenzátor kisülése. Ilyenkor csökken a fegyverzetek közötti elektromos mező energiája, de az áram növekedése miatt nő a tekercsben a mágneses mező energiája.

$t = \frac{T}{4}$  időpillanatban az áram maximális lesz. Ilyenkor a rezgőkör teljes energiáját a tekercs tárolja mágneses mező formájában:

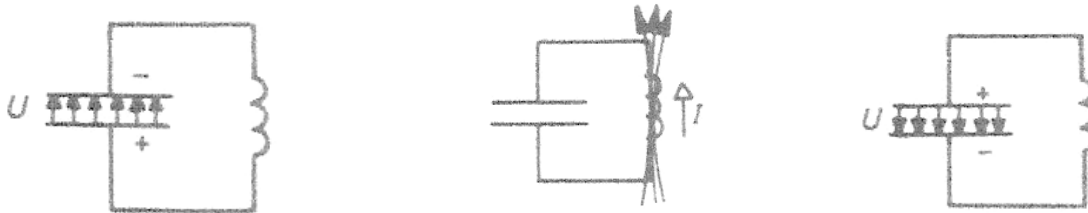
$$E = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$



De ebben a pillanatban megszűnt az a forrásos elektromos mező, ami eddig a töltések áramlását biztosította.

Mivel nincs forrásos mező, ezért nincs olyan tényező, ami ezt az áramot fenn tudná tartani. Ezért az áram lassan csökken. Ez a tekercsben a mágneses mező változását idézi elő. Ekkor Lenz-törvénye szerint olyan feszültség indukálódik, amely a korábbi állapotot igyekszik fenntartani. Az indukált feszültség által indított áram elkezd feltölteni a kondenzátort, de az előzővel ellentétes polaritással.  $t = \frac{T}{2}$  időpillanatra nullává válik a mágneses mező, de ekkorra a kondenzátor már feltöltődött.

A következő félciklusban az előzőhöz hasonló folyamat játszódik le, de ellentétes irányba. Ezt jelzik az ábrák.



**A rezgőkörben az elektromos és mágneses mező energiájának periodikus egymásba alakulását elektromágneses rezgésnek nevezzük.**

A rezgőkörben mozgó elektronok rezgési állapotát **szabad elektromágneses rezgésnek** nevezzük.

### **c) Csillapítatlan és csillapított elektromágneses rezgések**

Ha a rezgőkörnek nem lenne vesztesége, akkor a rezgések amplitúdója állandó lenne. Ebben az ideális esetben alakulna ki a **csillapítatlan elektromágneses rezgés**.

Az ohmos ellenállás, a mágneses és dielektromos veszteségek miatt a rezgések amplitúdója folyamatosan csökken. Így a valóságban **csillapított elektromágneses rezgések** jönnek létre.

#### d) Rezgőkör saját frekvenciája

Egy rezgőkörben minden külső vezérlés nélkül kialakuló elektromágneses rezgések frekvenciáját a **rezgőkör saját frekvenciájának** ( $f_0$ ) nevezzük. Ez az elektromos és mágneses mező átalakulásának gyorsaságát jellemzi.

$$\begin{aligned}E_C &= E_L \\ \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 &= \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad U = I \cdot X_C \\ C \cdot I^2 \cdot X_C^2 &= L \cdot I^2 \\ C \cdot \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C^2} &= L \\ f_0^2 &= \frac{1}{4\pi^2 \cdot L \cdot C} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\end{aligned}$$

Látható, hogy a rezgőkör saját frekvenciája csak a kondenzátor kapacitásától és a tekercs inuktivitásától függ.

Az  $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$  összefüggést **Thomson-formulának** is szoktuk nevezni.

(William Thomson angol fizikus, aki később lord Kelvin néven vált ismertté.)

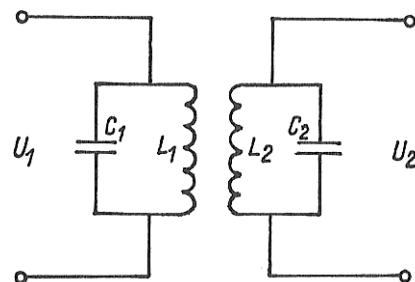
#### e) Csatolt rezgések, induktív csatolás

**Csatolt rezgésről** akkor beszélünk, ha két rezgőkör egymással olyan kapcsolatban van, hogy egymásnak energiát tudnak átadni.

Ha az 1. rezgőkörben elektromágneses rezgéseket hozunk létre, akkor rövid időn belül a 2. rezgőkörben is kialakulnak az elektromágneses rezgések. Ennek az az oka, hogy az 1. tekercsben az időben változó mágneses mező létrehoz egy örvényes elektromos mezőt, amely áramot indít a 2. rezgőkörben.

Ezt a jelenséget **induktív csatolásnak** nevezzük.

A két rezgőkör között akkor a legtokéletesebb az energiaátadás, ha a két rezgőkör saját frekvenciája megegyezik, vagyis  $L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2$ . Ilyenkor lép fel a **rezonancia**.



# Az elektromágneses hullámok

## a) Maxwell elmélete

A XIX. sz. közepére már sok ismeret gyűlt össze az elektromos és mágneses mezők

- előállításáról,
- tulajdonságairól,
- a két mező kapcsolatáról.

### Ismerték

- a nyugvó töltés által létrehozott elektrosztatikus mezőt,
- a mozgó töltés által létrehozott mágneses mezőt,
- a változó mágneses mező által keltett elektromos mezőt.

**James Clark Maxwell** skót fizikus 1865-ben átfogó elméletet dolgozott ki az elektromos és a mágneses jelenségek értelmezésére. *Ebben levezette, hogy nemcsak az időben változó mágneses mező hoz létre örvényes elektromos mezőt, hanem az időben változó elektromos mező is örvényes mágneses mezőt indukál.* (Ez utóbbira akkor még kísérleti bizonyítása nem volt.)

A két folyamat együtt azt eredményezi, hogy a periodikusan változó elektromos mező hasonló módon változó mágneses mezőt, ez újra változó elektromos mezőt hoz létre, és így tovább.

**Maxwell elmélete szerint** az elektromos töltésről elszakadó, térben tovaterjedő *elektromágneses mező hullámtulajdonságokkal rendelkezik.* Ezért kapta az **elektromágneses hullám** vagy **elektromágneses sugárzás** nevet.

A hullám vákuumbeli terjedési sebessége:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

tehát az elektromágneses hullámok terjedési sebessége megegyezik a fény sebességével.

Maxwell elméletéből következett a felismerés, hogy a fény is elektromágneses hullám.

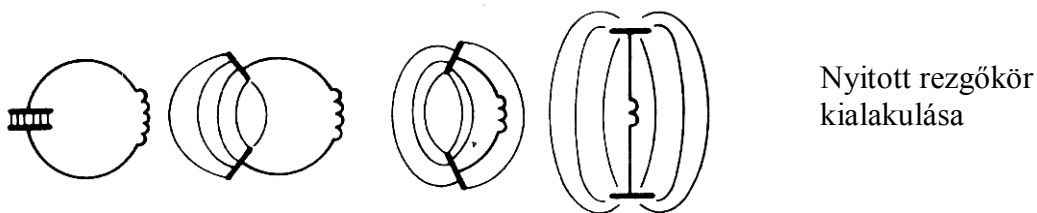
## b) Hertz kísérlete

Maxwell elmélete mindaddig csak feltételezés maradt, amíg Heinrich Hertz német fizikus 1888-ban kísérletileg nem igazolta az elektromágneses hullámok létezését és terjedési tulajdonságait.

Ahhoz, hogy az elektromos mező a rezgőkör kondenzátorának lemezei közül nagyobb térrészre terjedjen ki, nyitott rezgőkört, más néven antennát kellett alkalmazni.

Kísérletét a következőképpen végezte:

- Két rezgőkört állított össze, amelyek egymással induktív csatolásban voltak. Az 1. rezgőkörben egy változtatható kapacitású kondenzátor volt.
- Elkezdte a 2. rezgőkör kondenzátorainak fegyverzeteit távolítani egymástól, aminek során nőtt az időben változó elektromos mező térfogata.
- Közben az egyes rezgőkörben a kondenzátort mindig úgy állította be, hogy az energiaátadás maximális legyen.
- Végül a 2. rezgőkörben a kondenzátor fegyverzeteit maximálisan eltávolította egymástól. Így egy úgynevezett nyitott rezgőkört kapott, amelyet ma **antennának** nevezünk.



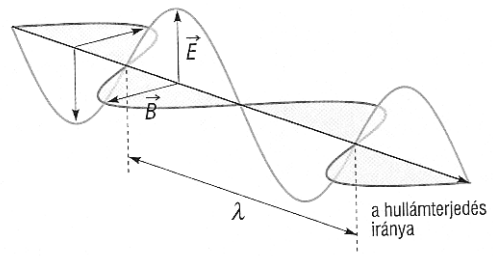
Az antenna két vége a frekvencia ütemében mindig ellentétes töltésű lesz.

- Ha a 2. rezgőkörtől, a már nyitott antennától távolabb elhelyezünk egy vevőantennát, ami rezonanciában van az adóval, akkor abban is kialakulnak az áram rezgései.

*A jelenség csak úgy magyarázható meg, hogy a nyitott rezgőkör energiája térben továbbterjed. A kondenzátor fegyverzetei között időben változó elektromos mező egy mágneses mezőt hoz létre, amelynek változása újabb elektromos mezőt indukál... Ez hozza rezgésbe a távolabb lévő antennát.*

Ha egy rezgőkör energiája térben tovább terjed, azt elektromágneses hullámnak nevezzük.

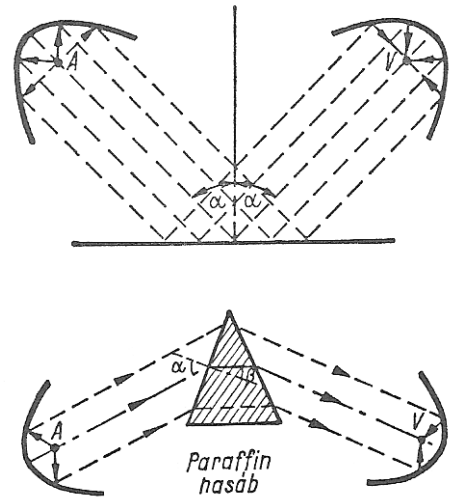
Az elektromágneses hullám terjedése légüres térben:



## Az elektromágneses hullámok terjedési tulajdonságai

Hertz adó- és vevőantennák segítségével igazolta, hogy az elektromágneses hullámok is rendelkeznek a mechanikai hullámoknál megismert tulajdonságokkal:

- egyenes vonalban terjednek,
- új közeg határán visszaverődnek a hullám visszaverődésének törvénye szerint,
- új közegbe hatolva megváltozik a terjedési sebességük, és megtörnek a hullámok törési törvényének megfelelően,
- megfelelő résen áthaladva elhajlanak,
- az elektromágneses hullámok között is létrejön az interferencia,
- az elektromágneses hullámokat lehet polarizálni, tehát **tranzverzális hullámok**.





## A teljes elektromágneses színekép

A fizikai ismeretek bővülésével bebizonyosodott, hogy az elektromágneses hullámoknak többféle megjelenési formája létezik.

Valamennyi elektromágneses hullámra igaz:

- Terjedésükhöz nincs szükség közegre.
- Vákuumban a terjedési sebességük megegyezik a fénysebességgel.
- Közegben is terjednek.
- Megfelelő körülmények között megfigyelhető
  - törés,
  - visszaverődés,
  - interferencia,
  - elhajlás,
  - polarizáció.
  
- Valamennyi elektromágneses hullám tranzverzális hullám.

Az elektromágneses hullámok különböznek:

- Hullámhosszukban, illetve frekvenciájukban. Az elektromágneses hullámok hullámhossza és frekvenciája között fordított arányosság van.
 

**$\lambda \cdot f = c$**

  - Különböző hullámhosszúságú elektromágneses hullámok előállítása más-más módon történik.

Az elektromágneses hullámok növekvő frekvencia szerinti sorozatát **teljes elektromágneses színeképnek** nevezzük.

		HULLÁMHOSSZ (M)	FREKVENCIA (HZ)
	Kisfrekvencia	$\infty - 10^4$	$0 - 10^4$
Rádióhullámok	Nagyfrekvencia	Hosszúhullám	$10^3$
		Középhullám	$10^2$
		Rövidhullám	10
		URH	1
		Mikrohullám	$10^{-3}$
Optikai színekép	Látható fény	Infravörös	$10^{-6}$
		Ultraibolya	$10^{-7}$
Sugarak		Röntgensugár	$10^{-9}$
		$\gamma$ -sugár	$10^{-11}$
		Kozmikus sugarak	$10^{-13}$

## Hangfrekvenciás rezgések (100 Hz-300 kHz)

A hang rezgéseit mikrofon segítségével alakítják elektromágneses rezgéssé. Az energia vezetékben terjed. Ezt alkalmazzák például az erősítőkben.

## Rádióhullámok ( $10^5$ Hz- $10^{11}$ Hz)

Előállításuk rezgőkörrel, kisugárzásuk nyitott rezgőkörrel történik. Terjedési tulajdonságaik némileg különböznek, attól függően, hogy hosszú-, közép- vagy rövidhullámról van-e szó. A hosszúhullámok követik a Föld görbületét, a közép- és a rövidhullámok az ionoszféráról visszaverődnek. Legelterjedtebb felhasználásuk az információtovábbítás.

A mikrohullámok az ionoszférán is áthaladnak. A mikrohullámok egyik alkalmazási területe a radar, amely pontos távolság- és iránymérést tesz lehetővé.

Itt kell megjegyezni, hogy bizonyos csillagászati objektumok is bocsátanak ki rádióhullámokat. A világegyetemben mérhető háttérsugárzás frekvenciatartománya is a rádióhullámok közé esik. A háttérsugárzás egy 2,7 K hőmérsékletű abszolút fekete test sugárzása.

## Infravörös sugarak ( $10^{12}$ Hz - $10^{14}$ Hz)

Az infravörös sugarakat másképp *hősugarak*nak is nevezzük. Ilyen sugarakat minden test bocsát ki magából. Fényérzetet nem keltenek. Felhőn, ködön jobban áthaladnak, mint a látható fény, mert a por és vízcseppek kevésbé szórják szét. Infrasarkanakra érzékeny filmmel sötétben, ködben is lehet *fényképezni*.

Használják még a *gyógyászatban* is, mert az infravörös sugarakkal bevilágított hely vérbősége megnő. A *mezőgazdaságban* a gyümölcs érlelésénél van szerepe.

## Látható fény ( $3,9 \cdot 10^{14}$ Hz - $7,8 \cdot 10^{14}$ Hz)

A látható fényt szemünkkel érzékeljük. Ennek segítségével szerezzük a legtöbb információt a külvilágról. A látható fény atomi folyamatok során keletkezik.

## Ultraibolya sugárzás ( $10^{15}$ Hz)

Szintén az atomok elektronszerkezetében bekövetkező változás következtébe jön létre. Viszonylag nagy energiája miatt képes a szerves molekulák szerkezetét megváltoztatni, ezért alkalmas például fertőtlenítésre vagy a bőr barnítására, de nagyobb energiájú sugárzás bőrrákot is okozhat.

A légkör ózonrétege nem engedi át a Naptól érkező UV sugarakat, ezért veszélyes az "ózonlyuk" kialakulása.

## Röntgensugárzás ( $10^{16}$ Hz- $10^{18}$ Hz)

Ezt a sugárzást Röntgen, német fizikus fedezte fel 1895-ben. Ezért a felismeréséért ő kapta az első fizikai Nobel-díjat.

A Nap magjában is keletkezik röntgensugárzás, de földi viszonylatban nagyenergiájú elektronok atomokkal való ütköztetése során állítják elő.

A röntgensugárzásnak nagyon erős ionizáló hatása van. Mérése a hatása alapján történik.

1R (1 röntgen) a sugárdózis akkor, ha  $1\text{cm}^3$  normálállapotú levegőben a sugársás hatására  $0,33 \cdot 10^{-9}$  C töltés keletkezik.

A lágy röntgensugarakat gyógyászati célra használják.

## $\gamma$ -sugarak ( $10^{18}$ Hz - $10^{20}$ Hz)

Ezeket a sugarakat radioaktív sugárzás során az atommag bocsátja ki. Rendkívül nagy energiájú sugárzások. Roncsolják vagy módosítják a DNS szerkezetét.

A világűrben is érkeznek ilyen nagyenergiájú  $\gamma$ -sugarak. Ezeket  **kozmikus sugarak**nak nevezzük.

# Az elektromágneses rezgésekkel és hullámokkal kapcsolatos technikai alkalmazások

## a) Kép- és hangrögzítés

A hang rögzítése az emberiség régi álma.

A legelső technikai megvalósítás a **gramofon** volt. Itt a barázdában futó tű mechanikai rezgéseit vitték a membránra.

Ennél fejlettebb technikát jelentett a **lemezjátszó**. Itt a tű mechanikai rezgéseit elektromos jellé alakítják, és ez a jel kerül a hangszórókra.

A **floppy-lemez** is adattárolásra alkalmas eszköz. Ez egy műanyag lemez, melynek felülete vas-oxiddal van bevonva. Adatrögzítéskor egy fej mágnesezi a lemez felületi pontjait, olvasáskor ugyanez a fej érzékeli a lemez mágneses területeit.

Az eddigi technikai megvalósításoknak nem sok köze volt az elektromágneses hullámokhoz. Az adatrögzítésnek ezt a formáját a **CD**-nél figyelhetjük meg.

A CD-n az információkat

- mikroszkopikus méretű barázdák, parányi mélyedések és kiemelkedések sorozata hordozza.
- Barázdákat egy fókuszált lézersugár (általában He-Ne lézer) pásztázza végig a forgó lemez közepétől kifelé.
- A lemezen lévő lyukak és síkok különbözőképpen verik vissza a lézersugarakat.
- A visszaverődés során kapott információkat elektromos jellé alakítják.
- Ezekből az elektromos jelekből átalakítás és erősítés után kapjuk a hangot.

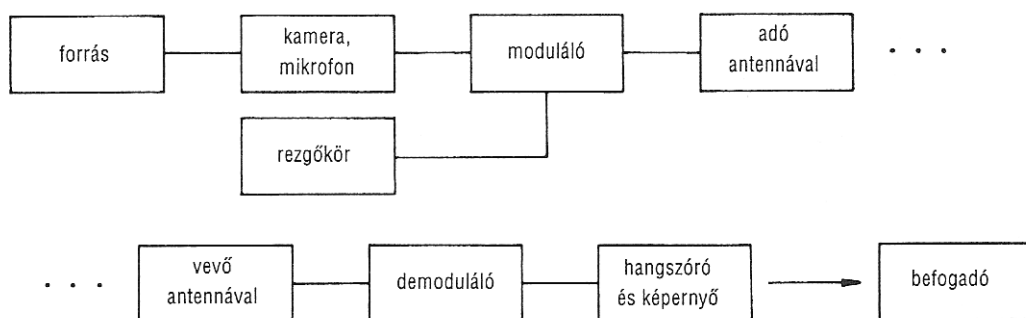
A CD-n a barázdák távolsága  $1-2 \mu\text{m}$ . A barázdában egy digitális jel hossza  $1 \mu\text{m}$ . Így egy  $10 \text{ cm}$  átmérőjű CD kb.  $10^{10}$  információs jelet tárol.

## b) Rádió és televízió adás-vétel

Az információknak rádión és TV-n történő közvetítése az elektromágneses hullámok segítségével történik.

- Az információk **vivőhullámok** segítségével jutnak el a vevőkészülékekhez. A vivőhullámok előállításának alapja egy **rezgőkör**. Ennek frekvenciája határozza meg a rádió-és televízióadó frekvenciáját. A rádiónál csak egy frekvencia van, még a televíziónál egy hang-és egy képfrekvencia.

- A kamera és a mikrofon a képet és a hangot elektromos jellé alakítja.
- A **moduláló berendezés**ben az
  - elektromos jellé alakított műsort és
  - rezgőkör rezgéseit összerakják egyetlen elektromos rezgéssé.
- A modulált rezgést az adóberendezés antennája elektromágneses hullám formájában kisugározza.
- A vevőberendezésben fordított folyamat játszódik le.
  - A vevőberendezés antennája fogja az elektromágneses hullámokat.
  - Demodulálással leválasztják a műsort a vivőhullámokról.
  - A leválasztott jel erősítés után a képcsőre és a hangszóróra kerül.



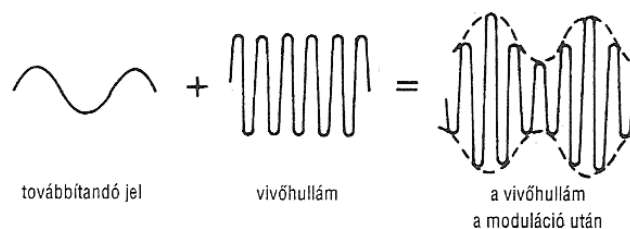
## Mit jelent a moduláció?

Ilyenkor a nagyfrekvenciás elektromos rezgéseket (műsor) ráültetik a vivőhullámra.

Ennek két lehetséges formája van:

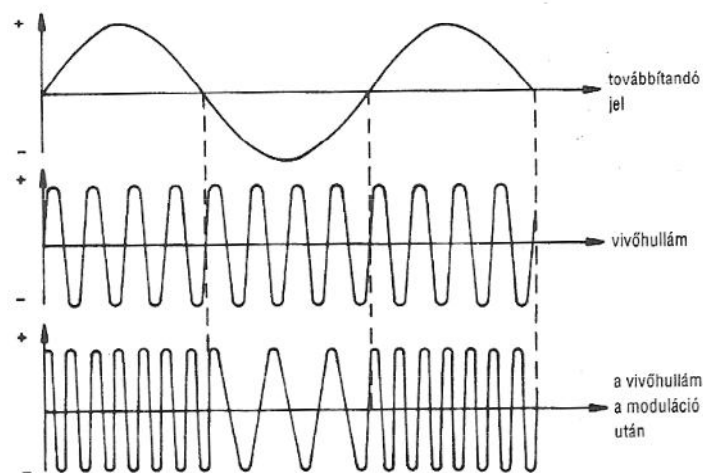
### 1. Amplitúdómoduláció

Ilyenkor a vivőhullám amplitúdóját a továbbítandó jel frekvenciájának megfelelően változtatják.

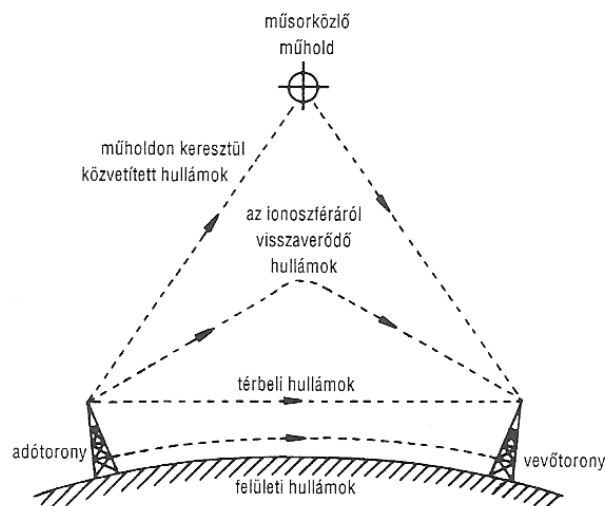


### 2. Frekvenciamoduláció

A vivőhullám frekvenciáját változtatják a jel amplitúdója szerint. Ha a jel amplitúdója pozitív, akkor növekszik a frekvencia, ha a jel amplitúdója negatív, akkor csökken a frekvencia.



A rádióhullámok terjedése különböző módon történik.



- A **hosszúhullámok** követik a Föld görbületét.
- A **közép-, rövid- és ultrarövidhullámok** egyenes vonalban terjednek.
  - A közép- és a rövidhullámok az ionoszféráról visszaverődnek.
  - Az ultrarövidhullámok átjutnak az ionoszférán.
- Az ionoszférán kijutó hullámok műholdon keresztül jutnak vissza a vevőhöz.

### c) **Mikrohullámú sütő**

A mikrohullámok szintén elektromágneses hullámok. A háztartásokban használatos mikrohullámú sütők 2500 MHz frekvenciájú elektromágneses sugárzást bocsátanak ki. Ez azt jelenti, hogy az elektromos mező

másodpercenként 5 milliószor vált irányt. Ennek köszönhető, hogy a mikrohullámú sütőben az étel gyorsan felmelegszik.

Minden élelmiszer tartalmaz vizet, de más poláris molekulákat is. Ezek között hidrogénkötés vagy dipól-dipól kötés van. Így a molekulák nem tudnak egymástól függetlenül mozogni. Elektromos mező hatására a molekulák a tér irányába igyekeznek beállni; ha vált a mező polaritása, akkor a molekulák  $180^{\circ}$ -ka szeretnének elfordulni. Ez az állandó mozgás az anyag belsejében belső súrlódást okoz, ami hő formájában jelenik meg.

## Fizikatörténeti vonatkozások

### MAXWELL, JAMES CLERK (1831 – 1879)

Skót fizikus



Munkásságának legkiemelkedőbb eredménye az elektromágneses tér elméletének megfogalmazása volt. Előkészítette az utat Einstein speciális relativitáselméletéhez, és gondolatai a XX. századi fizika másik nagy eredményének, a kvantumelméletnek a megszületését is elősegítették. A XIX. századi tudósok közül ő gyakorolta a legnagyobb hatást a XX. századi fizikára, kulcsfontosságú felfedezései miatt Sir Isaac Newtonnal és Albert Einsteinnel helyezik egy sorba.

### Hertz, Heinrich (Rudolf) (1857 – 1894)

Német fizikus



Elsőként adott le és fogott fel rádióhullámokat. Megállapította, hogy a fény és a hő elektromágneses sugárzás. Elektromágneses hullámokat állított elő, megmérte hullámhosszukat és sebességüket, illetve azt is kimutatta, hogy rezgésük természete, visszaverődési és törési képességük ugyanolyan, mint a fényé és a hőhullámoké.

### RÖNTGEN, WILHELM CONRAD (1845 – 1923)

Német fizikus



1895-ben fölfedezte és vizsgálta az általa X-sugaraknak, később róla elnevezett, az orvosi diagnosztikában szinte azonnal alkalmazásra kerülő sugárzást. Róla nevezték el a besugárzási dózis alapegységét ( $1 \text{ R} = 0,000258 \text{ C/Kg}$ ). Ezenkívül foglalkozott kristályfizikával, és tanulmányozta a gázok fajhőjét, továbbá a folyadékok fizikai sajátosságait magas nyomáson.

1901-ben Nobel-díjat kapott.



## RUTHERFORD, SIR ERNEST (1871 – 1937)

Angol fizikus



Az egyetemes fizikatörténet egyik legnagyobb kísérleti fizikusa. Munkássága meghatározó az atomszerkezet megismerésében.

A radioaktivitás jelenségét kutatva 1897-ben felfedezte az alfa- és a béta-sugárzást, **a  $\gamma$ -sugarakról kimutatta, hogy azok semlegesek.** 1908-ban kísérletileg igazolta, hogy az alfa-részecskék valójában héliumatommagok.

Frederick Soddyval már 1902-ben arra a következtetésre jutott, hogy a radioaktív sugárzás atomátalakulási folyamatok következtében keletkezik. 1911-ben alkotta meg atommagból és a körülötte keringő elektronokból álló atommodelljét. Létrehozta az első mesterséges magátalakulást.

1908-ban Nobel-díjat kapott a kémia területén elért munkásságáért.