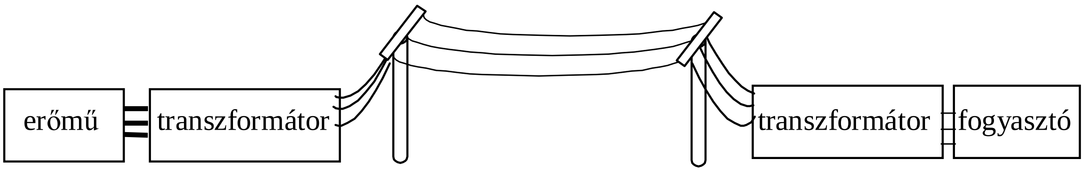
ELTE I.Fizikus 2004/2005 II.félév

KISÉRLETI FIZIKA

Elektrodinamika

7. (IV.12-15.)

Energiaellátás:



Erőművek:

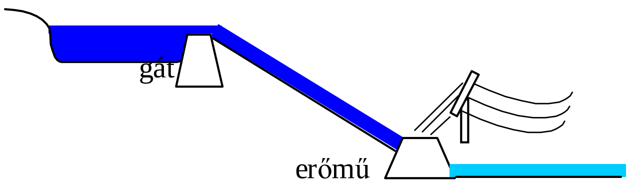
Hőerőmű (foszilis tüzelő anyag):

Szén	gőzturbina	
Olaj(földgáz)	gőzturbina, gázturbina	gőz-gáz vegyes
Atom	gőzturbina	

(Vizet melegít és az elforralt gőz turbinát forgat).

Vízierőmű:

Sok víz - kis sebesség (kis esés, hömpölygés)
Kevés víz - nagy sebesség (nagy esés, rohanó patak)
Az Alpokban sok (víz-) tárolós erőmű van.
(A termelés egyenletes, a fogyasztás csúcsszerű.)



Naperőmű Kezdeti stádiumban
Szélerőmű
Geotermikus erőmű
Árapály erőmű (Hullám erőmű, sókoncentrációs erőmű).

Környezetvédelem:

Szén, olaj	szennyezés, környezet (bánya, hűtővíz)
Vízi	elrontja a vízháztartást
Szél	tájkép, madarak
Atom	-hűtővíz egyensúlya -hiba esetén /láthatatlan/sugárzás

Mágneses tér energiája:

$$U_i = L\frac{dI}{dt}\ ;\ P = U\ I$$

Feltöltünk egy tekercset:

$$W = E_{energ.} = \int U\ I\ dt = \int L\frac{dI}{dt}I\ dt = ½\ L\ I^2\Big|_{kezd}^{vég} = ½\ L\ I^2$$

$$E_{energ.} = ½\ L\ I^2 = ½\Phi\ I = ½\ \Phi^2/L \qquad ;\ \Phi = L\ I\ \ fluxus$$

$$H = NI\ /\ l\ ;\quad \Phi = B\ A\ N$$

$$E_{energ.} = ½\Phi I = ½\ (B\ A\ N)\ (Hl/N) = ½\ (B\ H)\ (A\ l) = ½\ (HB)\ V$$

$$E_{energ}^{m} = ½ \iiint \underline{B}\ \underline{H}\ dV$$

$$w_m = ½\ \underline{B}\ \underline{H} \qquad \textit{energiasűrűség;} \qquad W = \iiint w\ dV$$

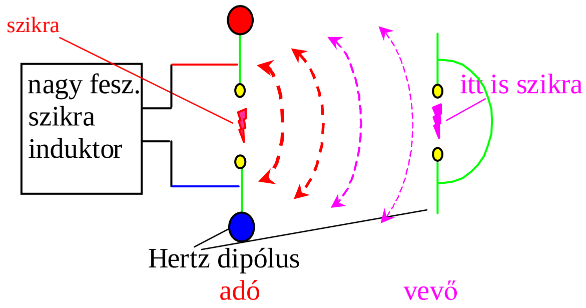
$$w_m = ½\ \underline{B}\ \underline{H} = ½\ \underline{B}^2/\mu == ½\ \mu\ \underline{H}^2$$

$$w_{el.mág.} = ½\ (\underline{E}\ \underline{D} + \underline{B}\ \underline{H})$$

Sugárzás, eltolási áram

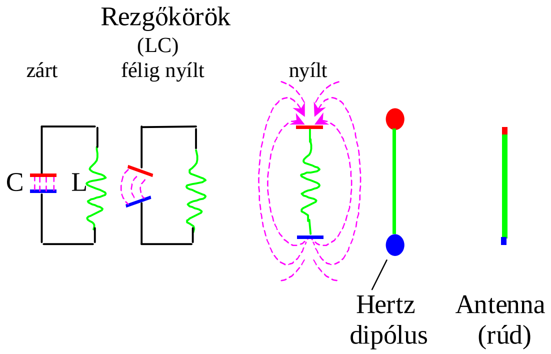
1.) Hertz kisérlete (történelem):

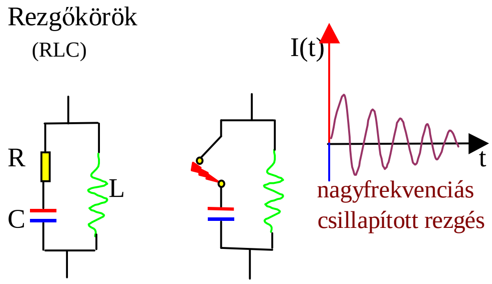
Hertz kisérlet



Mitől megy olyan messzire a tér?

Rádió, TV, csillagos ég,…



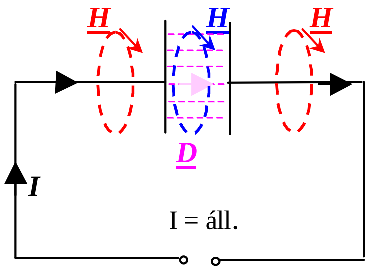


A szikra keletkezésekor záródik a (megszakított) rezgőkör és gyorsan oszcilláló E tér keletkezik (generátor nélkül is a nyílt rezgőkörben).

2.) Probléma a töltésmegmaradással:

a) Kondenzátor feltöltése

A gerjesztési törvény feltöltéskor



A lemezek között:

$$\oint \underline{H}\, d\underline{s} = \iint \underline{j}\, d\underline{A}\ ;\ 0 = \oiint \underline{j}\, d\underline{A}$$

b) A kontinuitási egyenlet:

$$\oiint \underline{\mathbf{j}}\, \mathbf{d}\underline{\mathbf{A}} + \iiint (\partial\rho/\partial t)\, \mathbf{dV} = \mathbf{0};$$

ellentmondás!

új j -H öszzefüggés kell

$$\oiint \underline{j}\, d\underline{A} = -\frac{d}{dt} q = -\frac{d}{dt} \oiiint \rho\, dV = -\frac{d}{dt} \oiiint \operatorname{div} \underline{D}\, dV = -\frac{d}{dt} \oiint \underline{D}\, d\underline{A}$$

$$\oint \underline{H}\, d\underline{s} = \iint \underline{j}\, d\underline{A} + \frac{d}{dt} \iint \underline{D}\, d\underline{A}$$

(Az így definiált H vonalintegrál -már egy kondenzátor feltöltésekor is- összhangban van a kontinuitási egyenlettel, azaz = 0).

$$\oint \underline{H}\, d\underline{s} = I_{szabad} + \frac{d}{dt} \iint \underline{D}\, d\underline{A} = I_{szabad} + I_{eltolási}$$

3.) A Maxwell egyenletek (integrálisan):

$$\boxed{\oiint \underline{D}\, d\underline{f} = q} \qquad \boxed{\oiint \underline{B}\, d\underline{f} = 0}$$

$$\boxed{\oint \underline{E}\, d\underline{s} = -\frac{d}{dt}\iint \underline{B}\, d\underline{A}} \qquad \boxed{\oint \underline{H}\, d\underline{s} = I + \frac{d}{dt}\iint \underline{D}\, d\underline{A}}$$

A Maxwell egyenletek (differenciálisan):

$$\boxed{div\, \underline{D} = \rho} \qquad \boxed{div\, \underline{B} = 0}$$

$$\boxed{rot\, \underline{E} = -\frac{\partial \underline{B}}{\partial t}} \qquad \boxed{rot\, \underline{H} = \underline{j} + \frac{\partial \underline{D}}{\partial t}}$$

D és ***H*** : ***E*** és ***B*** függvénye

$\underline{\boldsymbol{D}} = \boldsymbol{\varepsilon}\, \underline{\boldsymbol{E}}$; $\underline{\boldsymbol{B}} = \boldsymbol{\mu}\, \underline{\boldsymbol{H}}$

$$\boxed{\underline{F} = q\left(\underline{E} + \underline{v} \times \underline{B}\right)}$$

4.) Az egyenlet jelentése

$$\boxed{\text{mozgó töltések}} \xrightarrow{\boxed{\text{Maxwell egyenletek}}} \underline{\boldsymbol{E}}, \underline{\boldsymbol{B}} \longrightarrow \underline{\boldsymbol{F}} \longrightarrow \boxed{\text{Newton egyenletek}} \longrightarrow \boxed{\text{mozgó töltések}}$$

5.) Az elektromágneses tér mint anyag.

Végtelen anyagi pont (sűrűségi jellemzés):

energia: $\boldsymbol{E = \iiint \tfrac{1}{2}(\underline{E}\,\underline{D} + \underline{B}\,\underline{H})\, dV = \iiint w\, dV}$

impulzus: $\boldsymbol{\underline{P} = \iiint (\underline{B} \times \underline{D})\, dV = \iiint \underline{p}\, dV}$

impulzusmomentum: $\boldsymbol{\underline{M} = \iiint (\underline{r} \times \underline{p})\, dV = \iiint \underline{m}\, dV}$

$$\frac{d}{dt}\underline{p}(r) = \underline{f}(r)$$ ***a Newton egyenlet***

Elekromágneses hullámok:

Keressük a Maxwell egyenletek hullámmegoldásait:
(Lineáris egyenletek, $\boldsymbol{\rho} = 0$, $\underline{\boldsymbol{j}} = 0$, ε_r = állandó, μ_r = állandó)

$$div\,\underline{D} = 0\,;\; div\,\underline{B} = 0\,;\; rot\,\underline{E} = -\frac{\partial}{\partial t}\underline{B}\,;\; rot\,\underline{H} = \frac{\partial}{\partial t}\underline{D}$$

Egy z irányba terjedő haladó hullám esetén:

$$\underline{\boldsymbol{E}} = \underline{E}_o \cos(\omega t - kz) \;;\; \underline{\boldsymbol{H}} = \underline{H}_o \cos(\omega t - kz)$$

$$div\,\underline{E} = 0\,;\; div\,\underline{H} = 0\,;\; rot\,\underline{E} = -\mu\frac{\partial}{\partial t}\underline{H}\,;\; rot\,\underline{H} = \varepsilon\frac{\partial}{\partial t}\underline{E}$$

Az x, y függés hiánya miatt a div = 0 egyenletekből:

$$\frac{\partial E_z}{\partial z} = 0\,;\; E_z = 0\,; \text{ illetve } \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0\,;\; H_z = 0 \text{ következik,}$$

azaz ***transzverzális*** a hullám!

Az rotációs egyenletekből:
(az egyszerűség kedvéért E –nek csak x komponenst tételezünk fel)

$$\underline{E} = \begin{pmatrix} E_o \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} cos(\omega t - kz)\,;\; rot\,\underline{E} = \begin{pmatrix} \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \\ \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} \\ 0 \end{pmatrix}\,;$$

$$\underline{H} = \begin{pmatrix} 0 \\ H_o \\ 0 \end{pmatrix} cos(\omega t - kz)\,;\; rot\,\underline{H} = \begin{pmatrix} \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \\ \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\partial H_y}{\partial z} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$rot\,\underline{E} = \frac{\partial E_x}{\partial z} = -E_o k\, sin(\omega t - kz) = -\mu\frac{\partial \underline{H}}{\partial t} = -\mu\omega H_o sin(\omega t - kz)$$

$$E_o k = \mu\omega H_o$$

$$rot\,\underline{H} = -\frac{\partial H_y}{\partial z} = H_o k\, sin(\omega t - kz) = \varepsilon\frac{\partial \underline{E}}{\partial t} = \varepsilon\omega E_o sin(\omega t - kz)$$

$$H_o k = \varepsilon\omega E_o$$

tehát : $k^2 = \omega^2\,\varepsilon\mu$; avagy $\omega^2 = \frac{1}{\varepsilon\mu}k^2$; illetve $\omega = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}k$.

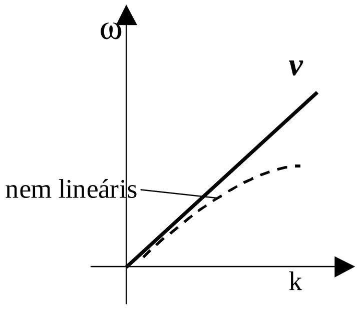
Vákuumban: $\omega = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \mu_o}} k = c\, k$ (c a vákuumbeli fénysebesség)

Nem vákuumban (ha ε_r = állandó, μ_r = állandó): $\omega = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} k = v_f\ k$ (v a közegbeni fázissebesség: $v_f = c/n$),

ahol n a törésmutató: $n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$.

Az ω/k (= v_f) -t azért nevezzük fázissebességnek, mert a $cos(\omega t - \underline{k}\,\underline{r}) = Re\left[e^{i(\omega t - \underline{k}\,\underline{r})} \right]$ tag argumentuma, a fázisa $\varphi = \omega t - k r$ (állandó).
S v_f ezen állandó fázisú felület térbeli terjedését jellemzi: ($v_f = r/t$)

Diszperziós reláció.



Ha az ω(k) függvény lineáris, akkor nincs diszperzió, (mert azt nevezzük diszperziónak, amikor az n törésmutató /ill. ε_r/ függ a frekvenciától).

Vízre: $\varepsilon_r = 80$; $n = \sqrt{\varepsilon_r} = 1.33$

Sztatikus; fény frekvencián