Ez hasonló az elektromos dipólhoz: $\underline{M}_E = \underline{p} \times \underline{E}$. A dipól forgatásához munkavégzés kell. ⇒ Potenciális energia

Potenciális energia: legkisebb, ha $\underline{\mu}$ és $\underline{B}$ egyirányú.
legnagyobb, ha $\underline{\mu}$ és $\underline{B}$ ellentétes irányú. $\Big\}$ $U = -\underline{\mu}\,\underline{B}$

(elektromos esetben már levezettük)

A fentiek tetszőleges alakú hurokra igazak.

Szolenoid (tekercs): N menet esetén $M = NIAB\sin\varphi$

állandó mágnesként (iránytűként) viselkedik

Atomi skálán: elektronok is mágneses dipólusok. Állandó mágnes: egyirányba állnak.

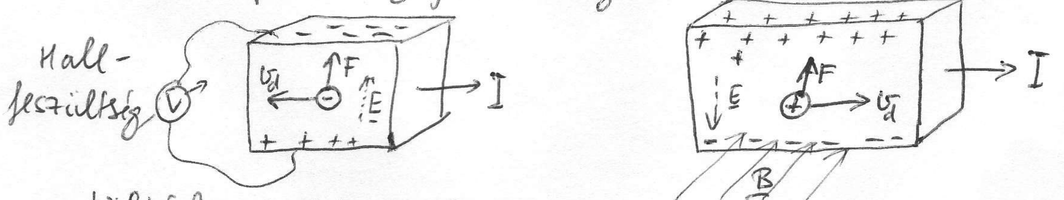
D [→→→→→→] É melegítés hatására a dipólok rendezetlenné válnak ⇒ elveszíti a mágnességét.

Állandó mágnes hatása egy vas tárgyra: 1) a vas dipóljait a mágnes egyirányba rendezi D[ ]É
2) vonzás lép fel

(Megj.: inhomogén térben a mágneses dipólra erő is hat)

Fontos alkalmazás: kommutátoros egyenáramú villanymotor

Hall-effektus: mágneses térbe helyezett áramjárta vezetőn oldalirányú feszültség jelenik meg:



- töltéshordozók töltése (+, -) mérhető!
- mágneses tér mérésére is használják

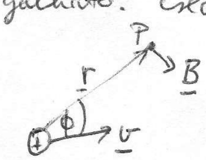
$qE + qvB = 0$

$E = -vB$

$I = Anqv_d \Rightarrow nq = \dfrac{-IB}{AE}$

A MÁGNESES TÉR FORRÁSAI

MOZGÓ TÖLTÉS MÁGNESES TERE: kísérlettel vizsgálható. Eredmény:



$B = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{|q|v\sin\phi}{r^2}$

μ_0: konstans

$\underline{B}$ merőleges $\underline{v}$-re és $\underline{r}$-re.

Legyen $\hat{\underline{r}}$ a töltéstől a P pontba mutató egységvektor: $\hat{\underline{r}} := \dfrac{\underline{r}}{|\underline{r}|} = \underline{r}/r$

Ekkor vektorosan: $\boxed{\underline{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{q\underline{v}\times\hat{\underline{r}}}{r^2}}$

$\underline{B}$ erővonalak: körök, melyek középpontja a $\underline{v}$ sebesség egyenesében van.

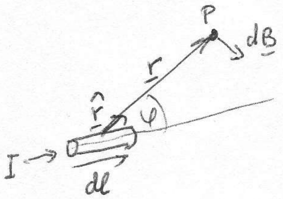
μ_0 mértékegysége: $T = [\mu_0]\cdot C\cdot\dfrac{m}{s}\cdot\dfrac{1}{m^2} = [\mu_0]\cdot A\cdot\dfrac{1}{m} \Rightarrow [\mu_0] = \dfrac{T\cdot m}{A}$

SI-ben értéke egzaktul: $\boxed{\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}\ Tm/A}$

Megjegyzés: $\varepsilon_0\mu_0c^2 = 1$

Biot-Savart törvény

Áram-elem mágneses tere



A töltések sűrűsége: n, töltése: q ⇒ a mozgó töltések össz.: $dQ = nq\cdot A\cdot dl$

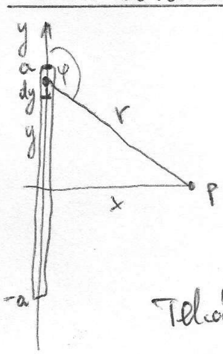
A töltések a v_d driftsebességgel mozognak.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{|dQ|\,v_d\sin\varphi}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{n|q|v_d\cdot A\cdot dl\cdot\sin\varphi}{r^2}$$ visszaírt $I = n|q|v_d A$

$$\Rightarrow dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{I\cdot dl\sin\varphi}{r^2}.$$ vektorosan pedig: $$\boxed{d\underline{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot I\cdot\frac{d\underline{l}\times\hat{\underline{r}}}{r^2}}$$

Ez mostmár használható bármilyen áram-konfiguráció mágneses terének kiszámítására. Szimbolikusan: $\underline{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot I\cdot\int\frac{d\underline{l}\times\hat{\underline{r}}}{r^2}$.

HOSSZÚ EGYENES VEZETŐ TERE:



$r = \sqrt{x^2+y^2}$

$\sin\varphi = \frac{x}{r} = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$

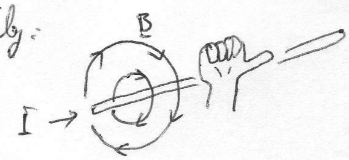
$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_{-a}^{a}\frac{x\,dy}{(x^2+y^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\left[\frac{y}{x\sqrt{x^2+y^2}}\right]_{-a}^{a} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\cdot\frac{2a}{x\sqrt{x^2+a^2}}.$$

most nézzük a végtelen hosszú vezető esetét: $a\to\infty$

Ekkor $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\cdot\frac{2a}{x\cdot a} = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\cdot\frac{1}{x}$

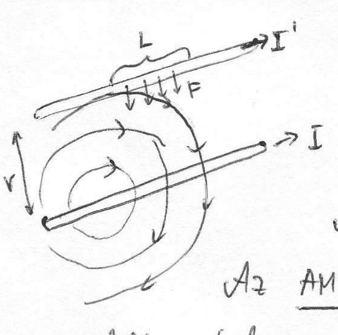
Tehát, a végtelen egyenes vezető által létrehozott $\underline{B}$ tér, tőle r távolságra:

$$\boxed{|\underline{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\cdot\frac{1}{r}}$$ jobbkéz-szabály:



A mágneses erővonalak körülveszik a vezetőt.
Mindig hurkokat alkotnak.

PÁRHUZAMOS VEZETŐK KÖZÖTTI ERŐ



Az alsó vezető mágneses tere a felsőnél: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\cdot\frac{1}{r}$

A felsőre ható erő (L hosszú darabra):

$$F = |\underline{F}| = I'|\underline{L}\times\underline{B}| = I'LB = \frac{\mu_0 I I' L}{2\pi r}.$$ Hossz-egységre jutó erő: $$\boxed{F/L = \frac{\mu_0 I I'}{2\pi r}}$$

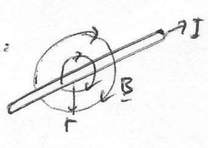
Ha az áramok egyirányúak: VONZÁS.

Az AMPER definíciója: 1 A az az áramerősség, amelyet két párhuzamos, végtelen hosszú, egyenes vezetőbe vezetve, melyek 1m távolságra vannak, méterenként $2\cdot10^{-7}$ N erőt hoznak létre.

AMPÈRE-TÖRVÉNY:

a mágneses tér árulkodik arról, hogy milyen az áramok eloszlása.

Pl. egyenes vezetőre:

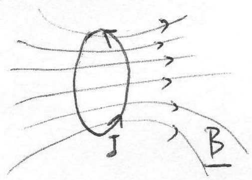


$$\oint_{r\text{ sugarú O}}\underline{B}\,d\underline{l} = 2\pi r\cdot|\underline{B}| = 2\pi r\cdot\frac{\mu_0 I}{2\pi}\cdot\frac{1}{r} = \underline{\underline{\mu_0 I}}.$$

Általában is igaz, bármilyen zárt hurokra:

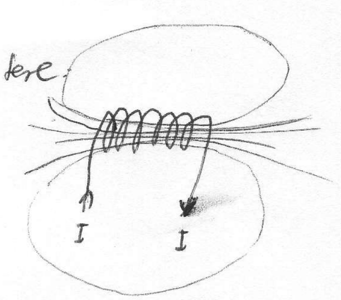
$$\rightarrow \boxed{\oint\underline{B}\,d\underline{l} = \mu_0 I}$$

Körvezető tere:



Szolenoid (tekercs) tere:

Sok menettel B felerősíthető!



Mágneses anyagok: az atomi elektronok is keltenek mágneses teret, miközben keringenek

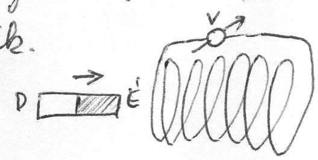
ferromágnesek: a kis mágneses momentumok kölcsönhatnak, beállhatnak egy irányba

ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ

szinte minden elektromos energiát termelő erőmű így működik! (víz, szén, atom...)

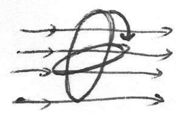
Jelenség: ha egy vezetőhurkon átmenő mágneses fluxus változik, akkor a hurokban feszültség indukálódik.

pl. 1) mágnest mozgatunk egy tekercsben:



2) vezető hurkot forgatunk B térben:

stb.

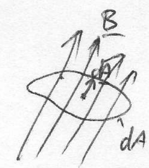


FARADAY TÖRVÉNYE:

Az indukált feszültség egy zárt vezetőhurokban egyenlő a hurkon átmenő mágneses fluxus változási ütemével:

$$\boxed{V = -\frac{d\Phi_B}{dt}}$$

emlékeztető: $\Phi_B = \int \underline{B} \cdot d\underline{A}$



pl. bicikli sebességmérője:
küllőn mozgó mágnes + vázra rögzített tekercs

LENZ TÖRVÉNYE:

az indukált hatás mindig ellentétes az őt létrehozó okkal (pl. fluxusváltozással)

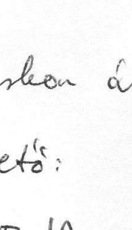
pl. hurok → ϕ csökken → áram indul el → mágneses teret hoz létre amely ϕ-t növelni akarja

változó mágneses tér tehát létrehoz egy nem-konzervatív, nem-stacionárius elektromos teret.

Példák: HDD, gitár-pickup, gyújtáselosztó, ...

ÖRVÉNYÁRAMOK:

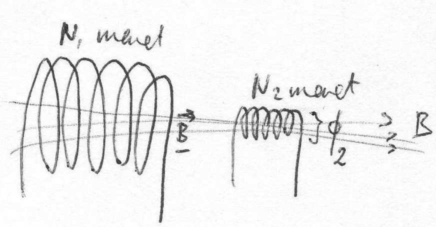
pl. forgó fémkorong, kis részén mágneses tér:
alkalmazás: villanyóra, indukciós tűzhely, fémdetektorok, fémkeresők stb.



- örvényáram indul
= a korong fékeződik

INDUKTIVITÁS

két egymásba, vagy egymás mellé helyezett tekercs áramot/feszültséget gerjeszt egymásban:



Ha i_1 áram folyik az 1. tekercsben, a 2. tekercs minden menetén Φ_2 fluxus megy át.
$i_1 \sim \Phi_2$. ha i_1 változik, Φ_2 is változik. A 2. tekercsben indukált feszültség: $\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_2}{dt}$

Tehát $\mathcal{E}_2 = -M_{21}\frac{di_1}{dt}$, ahol $M_{21} = N_2 \cdot \frac{\Phi_2}{i_1}$ a kölcsönös induktivitás.

Visszafelé: i_2 változik → feszültség az 1. tekercsben. csak a geometriától, menetszámtól függ.

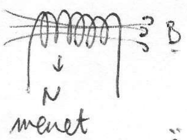
kiderül, hogy $M_{12} = M_{21} \equiv M$ mindig igaz! Tehát

$$\boxed{\mathcal{E}_2 = -M\frac{di_1}{dt} \quad \text{és} \quad \mathcal{E}_1 = -M\frac{di_2}{dt} \qquad \text{ahol } \underbrace{M}_{\text{kölcsönös indukciós együttható}} = \frac{N_2\Phi_2}{i_1} = \frac{N_1\Phi_1}{i_2}}$$

M mértékegysége: henry (H) $1H = 1\frac{Vs}{A}$

ÖNINDUKCIÓ:

A fentiek egyetlen tekercsre is fennállnak:



ha i változik → Φ változik → feszültséget indukál saját magában!

Ez mindig nehezíti a mágneses tér változását (Lenz-törvény)

Önindukciós együttható: $\boxed{L = \frac{N\Phi}{i}}$ ahol Φ a menetenkénti átlagos fluxus i áramerősség esetén.

mértékegység: H (henry)

$$i \cdot L = N \cdot \Phi$$

$$L \cdot \frac{di}{dt} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -\mathcal{E}$$

→ Tehát az indukált feszültség: $\mathcal{E} = -L\frac{di}{dt}$

Az induktivitás (tekercs) áramköri jele: 

alkalmazás: pl. gyors feszültségváltozások kisimítása

L a tekercs geometriájától, menetszámától függ. Mivel $\Phi \sim N$, $L \sim N^2$.

VÁLTAKOZÓ ÁRAM: a villamos-energia szétosztásában (hálózatok) kulcsszerepe van!

transzformátor: a feszültség le-fel könnyen változtatható ⇒ kis veszteség

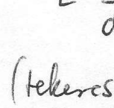
 feszültségforrás: $v = V\cos\omega t$. V: feszültség-amplitúdó

ω: körfrekvencia. $\omega = 2\pi \cdot \nu$

ν: frekvencia (pl. 50Hz)

Az áramerősség is: $i = I\cos\omega t$.

Ohmos ellenállás: $v_R = iR = IR\cos\omega t \equiv V_R\cos\omega t$, ahol $V_R \equiv IR$.

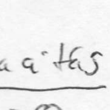


a feszültség minden pillanatban arányos az áramerősséggel

Induktivitás: a feszültség arányos az áramerősség változási ütemével:

$$v_L = L\frac{di}{dt} = L\frac{d}{dt}(I\cos\omega t) = -I\omega L\sin\omega t = \underbrace{I\omega L}_{\text{impedancia}}\cos(\omega t + \underbrace{90°}_{\text{fázistolás}})$$

Kapacitás:



$i = \frac{dq}{dt} = I\cos\omega t$ → integrálva: $q = \frac{I}{\omega}\sin\omega t$

Tudjuk: $q = Cv_C$, tehát $v_C = \frac{I}{\omega C}\sin\omega t = I \cdot \underbrace{\frac{1}{\omega C}}_{\text{impedancia}}\cos(\omega t - 90°)$ ↳ fázistolás