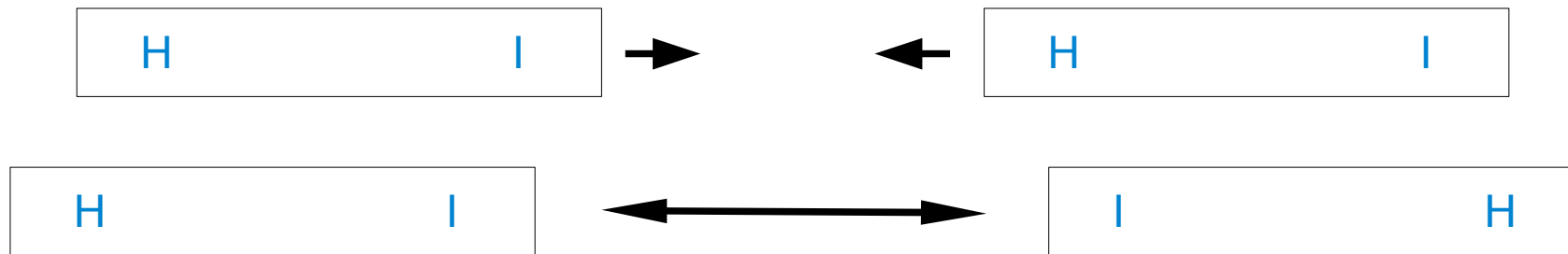


2. gaia: Eremu magnetikoa

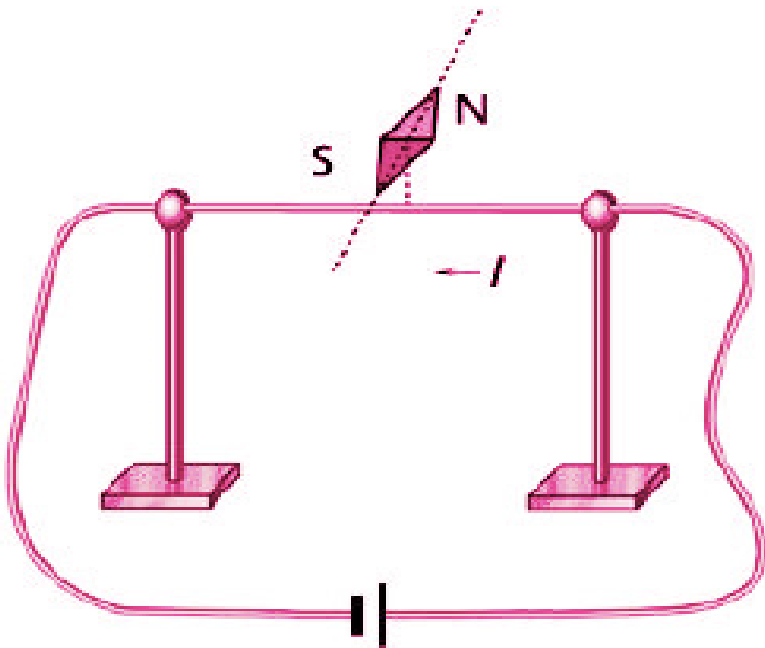
Indar eta eremu magnetikoa

- Aintzinarotik ikusi izan da burdinazko zenbait mineralek burdinazko objektuak erakartzen dituztela
- Erakarpen horren intentsitatea handia da muturretan (poloetan) eta zentroan zero
- Bi poloek, halaber, portaera desberdina dute: polo desberdinekiko indar erakarlea eta polo berdinekiko indar aldaratzailea



Indar eta eremu magnetikoa

- Lurra, **iman** bat da. Iman guztiei eragiten die indarra, ipar poloa iparralderantz orientatuta
- Poloak ezin dira banatu
- XIX. mendean, *Oersted*-ek korrante elektrikoak indar magnetikoa eragiten duela konprobatu zuen



- Ampèrek apur bat beranduago imanek korronte elektrikoei indarra eragiten dietela konprobatu zuen, eta korronte elektrikoen artean indar magnetikoak agertzen direla

Intentsitatea eta erresistentzia

- Eroale baten barruan, \vec{E} eremu elektrikoa existitzen denean, kargak mugitzen dira
- Atomoen arteko talken ondorioz, esan daiteke kargen abiadura konstantea dela, eroalearen sekzio bakoitzeko
- v abiadura hori, eroalean zehar mugitzen diren karga guztien abiaduren arteko batazbesteko abiadura da
- Egoera horretan, karga bat dt denbora batean dl luzera ibiltzen da:

$$dl = v \cdot dt$$

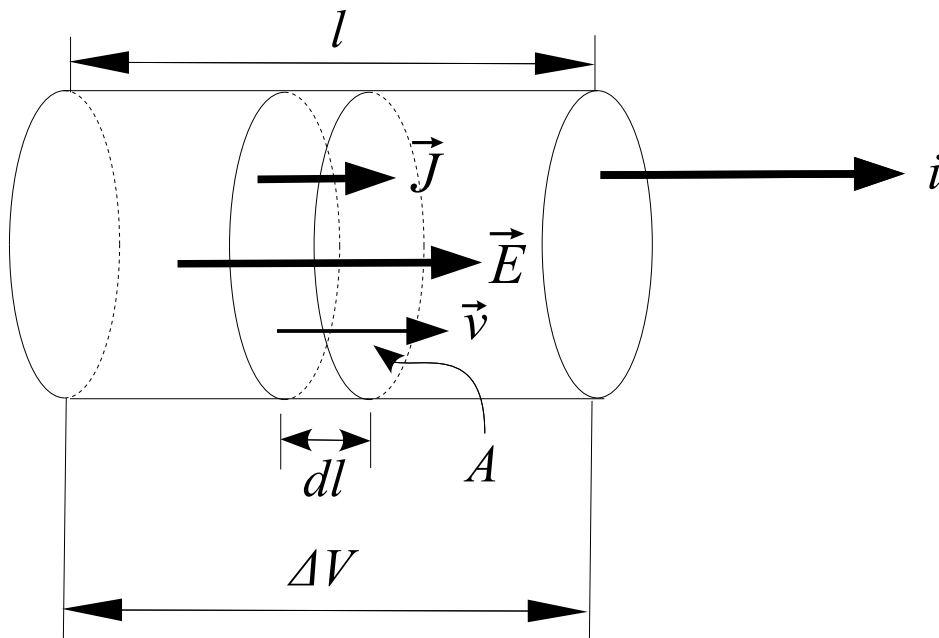
Intentsitatea eta erresistentzia

- Suposatuta, eroalearen zati bat, A sekzioiduna eta L luzeraduna, bolumen horretan dagoen karga elektriko kopurua:

$$dq = \rho \cdot A \cdot v \cdot dt$$

- Eta A sekzioa zeharkatuko duen karga, denbora unitateko $\rightarrow i$:

$$i = \frac{dq}{dt} = \rho \cdot A \cdot v$$



- Korrante dentsitatea da intentsitatea, azalera unitateko:

$$\vec{J} = \frac{i}{A} = \rho \cdot \vec{v}$$

Intentsitatea eta erresistentzia

- Intentsitatea: C/s [Coulomb/segundo] \rightarrow Ampere
- Baliteke karga dentsitatea ez izatea uniforme A azaleran zehar, beraz, A gainazala zeharkatzen duen korronte dentsitatearen fluxua dela intentsitatea esango dugu:

$$i = \int_A \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

- Eroaleetan, korronte dentsitatea aplikatutako eremuarekiko proportzionala da

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$$

$\sigma \rightarrow$ eroalearen eroankortasuna.

Intentsitatea eta erresistentzia

- Eremu elektrikoa eta potentzial elektrikoaren erlazioa aplikatuta, x ardatzaren norabideko eremu elektrikoaren kasuan, eta l luzeradun eroale lerrozuzen bat norabide berdinerara jarrita:

$$E = -\frac{dV}{dx}; J = \frac{i}{A}; J = \sigma \cdot E \Rightarrow \frac{i}{A} = -\sigma \cdot \frac{dV}{dx}$$

- Bertatik, i eta V -ren arteko erlazioa ateratzen da:

$$i \int_A^B dx = -\sigma \cdot A \int_A^B dV \Rightarrow i \cdot l = \sigma \cdot A \cdot (V_A - V_B)$$

$$V_A - V_B = \frac{l}{\sigma \cdot A} \cdot i \quad \text{Erresistentzia elektrikoa: } R = \frac{l}{\sigma \cdot A}$$

Intentsitatea eta erresistentzia

- Erlazio horrek zera esan nahi du: Eroale bat zeharkatzen duen intentsitate elektrikoa eroale horren muturren arteko potentzial diferentziarekin erlazionatzen dela, R erresistentzia elektrikoa deritzon konstante baten bidez (Ohm legea)

$$\Delta V = R \cdot i$$

- Erresistentzia elektrikoa eroalearen izaera eta dimentsioen menpekoa da (azalera, luzera). $R \rightarrow \Omega$ [Ohm]

Indar eta eremu magnetikoa

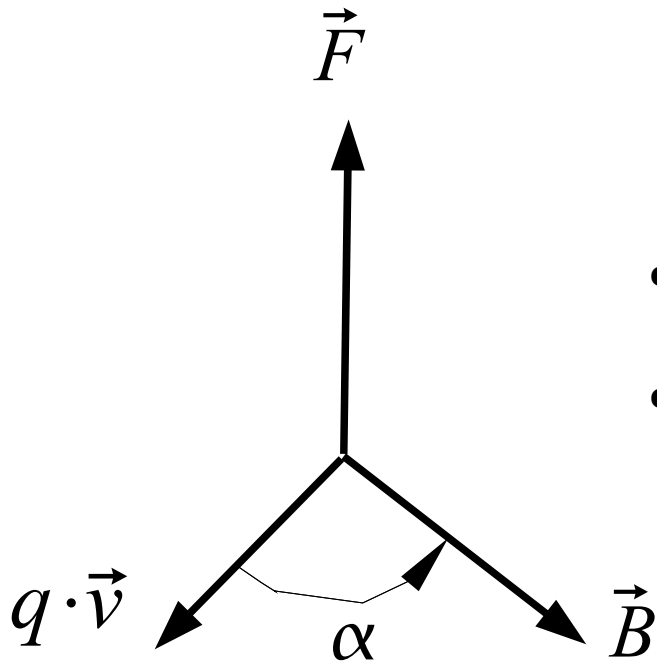
- Indar magnetikoak korronteengan dute eragina, hau da, mugitzen diren kargengan.
- q karga bat, \vec{v} abiaduraz mugituta, \vec{B} eremu magnetiko batean, \vec{F} indar bat pairatzen du:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

- \vec{B} bektorea eremu magnetikoaren intentsitatea deritzo, edota Indukzio Magnetikoa. Bere moduloa $[\text{N} \cdot \text{s} / \text{C} \cdot \text{m}]$, $[\text{N} / \text{A} \cdot \text{m}]$ edo *tesla* [T] unitatean da
- Tesla unitatea handiegia da, eta azpimultiplo bat erabili ohi da, gauss (G). $1\text{T} = 10^4 \text{ G}$

Indar eta eremu magnetikoa

- Indarra \vec{v} eta \vec{B} -rekiko elkarzuta da, gorantzako norazkoa \vec{v} -tik \vec{B} -raino biratuz erlojuaren orratzeko noranzkoen kontra bagoaz
- Modulua da: $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$
- V bolumena duen eroalea zeharkatzen duen \vec{J} korronte dentsitatearengan eragiten duen indarra kontuan hartuta:

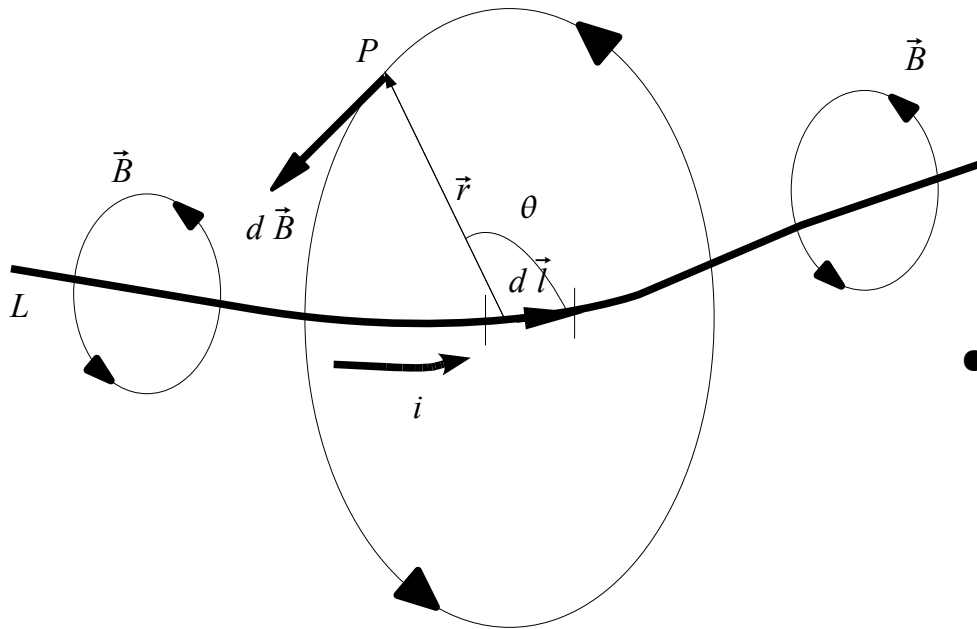


$$\vec{F} = \int \vec{J} \times \vec{B} \cdot dV$$

- Eta intentsitatea V konstantea bada, eroalearen L luzera guztian zehar:

$$\vec{F} = i \cdot \int_L \vec{dl} \times \vec{B}$$

Biot-Savart legea



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i d\vec{l} \times \vec{e}_r}{r^2}$$

- i intentsitate konstantea duen korronte elektriko batek eragiten duen \vec{B} eremu magnetikoaren adierazpena da
- L eroaleatik i korronte elektrikoa badoa, dl elementuak r distantziara kokatutako P puntu batean sortutako indukzio magnetikoa da:

Hutsaren iragazkortasun magnetikoa : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$

Biot-Savart legea

- Modulua da:

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{i dl \sin \theta}{r^2}$$

- Lege hau esperimentalak da, luzaera infinitu duen eroale lerrozuzen baten aplikatzen badugu, d distantziara:

$$B = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{i}{d}$$

- Eremuaren noranzkoa eroalearengandik perpendikularra den plano batean dagoenez, indar-lerroak eroalearekiko zentrokodeak diren zirkunferentziak izango dira

Eremu magnetikoen Gauss legea

- S gainazal bat zeharkatzen duen fluxu magnetikoak beti da zeroa:

$$\Phi_{mag} = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

- Honen arabera, indar-lerro magnetikoak beti ixten dira, ez daukate ez hasierarik ezta bukaerarik ere
- Fluxu magnetikoa eremu magnetikoaren ezaugarri garrantzitsu bat da, unitatea *weber* da (Wb) $\rightarrow T \cdot m^2$
- B adierazteko askotan erabiltzen da Wb/m^2 unitatea

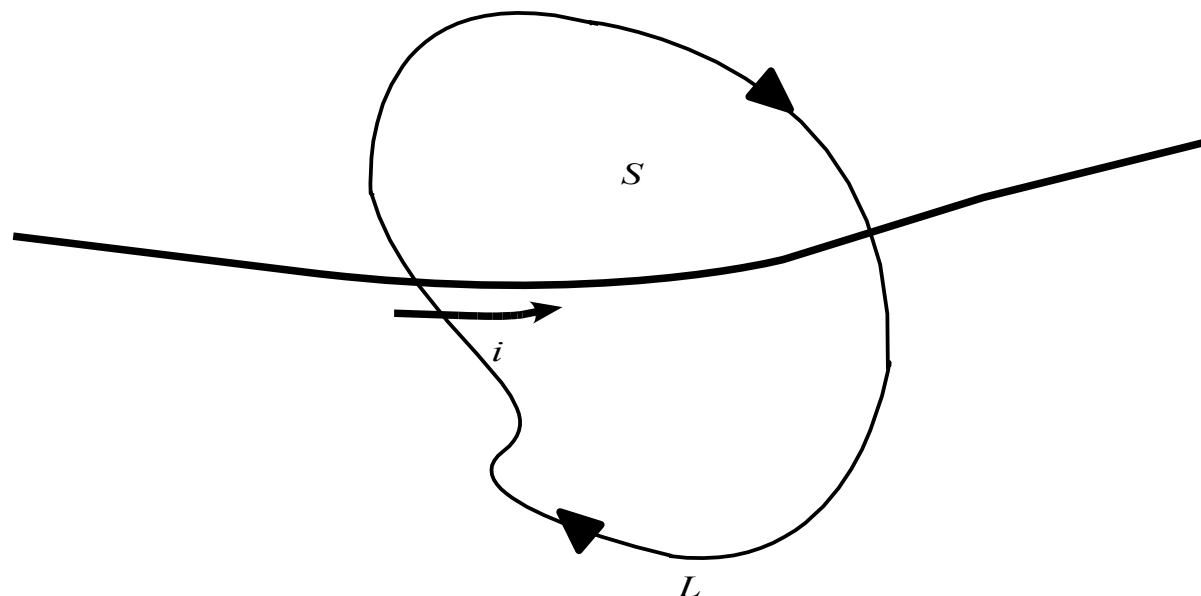
Ampère-Maxwell legea

- i korrante konstante batek sortzen duen eremu magnetikoak, L ibilbide itxi baterako, betetzen du:

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$$

- Simetria duten eroaleetan \vec{B} kalkulatu dezakegu adierazpen honen bidez, zeren eta L aukeratuko dugu, integrala erraz ebazteko
- Adierazpen honetan baita ere erakusten da nola i da eremu magnetikoaren iturria

Ampère-Maxwell legea



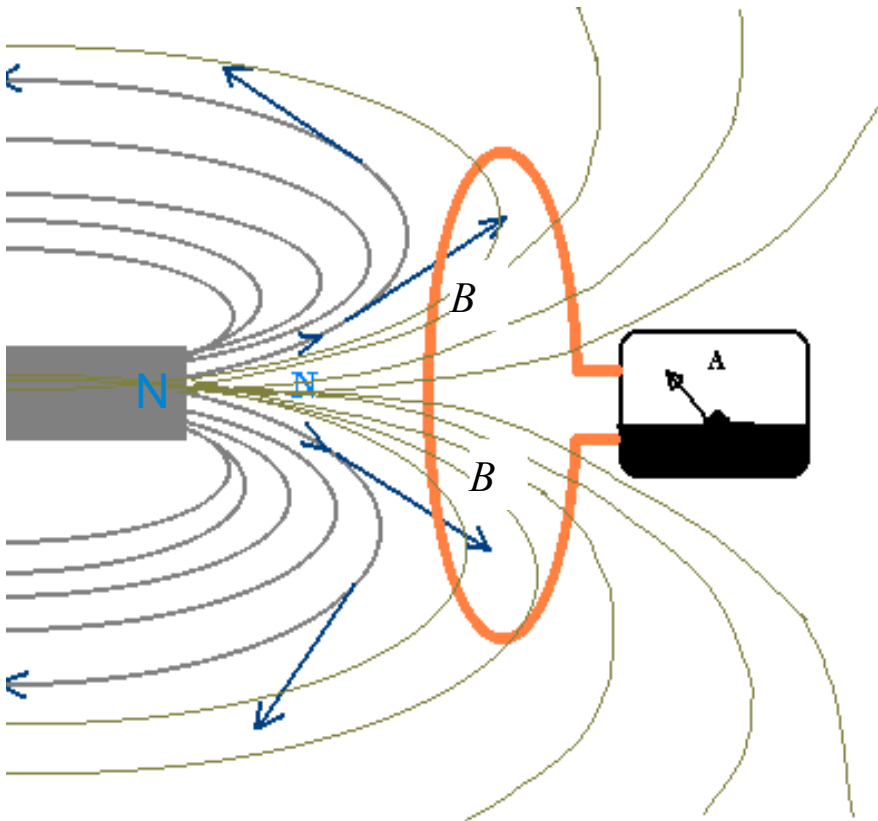
- Maxwell-ek proposatu zuen zuzenketa bat Ampère legerako, korrante aldakorra denean:

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{d\Phi_{elek}}{dt}$$

$$\Phi_{elek} = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

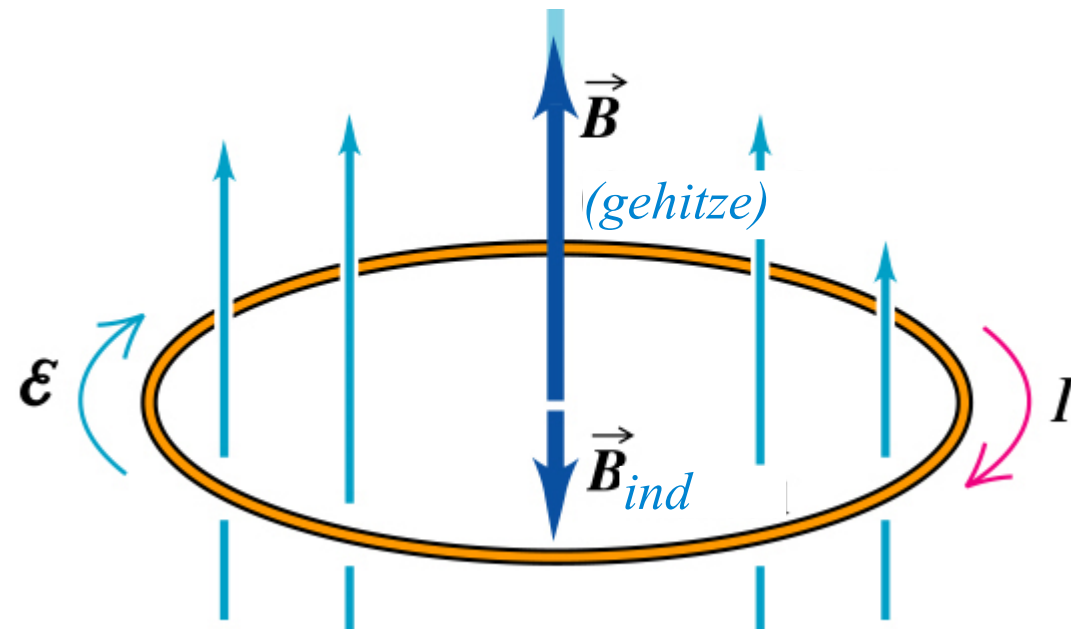
- Denboran fluxu aldakorra duen eremu elektriko bat eremu magnetikoen iturria da baita ere

Faraday-Lenz legea



- Eremu magnetiko baten aldaketak eragiten ditugunean, inguruan dagoen begizta baten korronteak agertzen dira → Indukzioa
- Begizta edo imana mugitzen denean, indukzioa agertzen da
- Eremu magnetikoa aldatzen denean, indukzioa agertzen da baita ere (eroale baten korrante aldatzen denean)

Faraday-Lenz legea



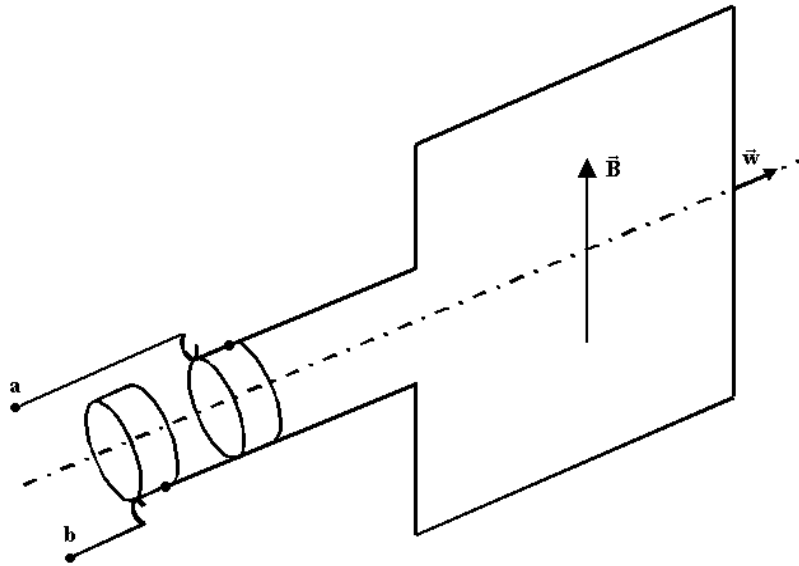
- Indukzio korrontea adierazteko, indukzituko potentzial diferentziaren (indar elektroeragilea i.e.e.) bidez azaltzen da:

$$\epsilon_{ind} = - \frac{d \Phi_{mag}}{dt}$$

$$\epsilon_{ind} = \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d \Phi_{mag}}{dt}$$

- Zeinuaren esanahia da: i.e.e. beti sartutako eremu magnetikoaren kontra jokatzeko behar den noranzkoa izango du

Faraday-Lenz legea



$$\vec{F} = i \cdot \int_L \vec{dl} \times \vec{B}$$

- I.e.e.-k erabili daiteke energia mekanikoa energia elektrikoan bihurtzeko
- Ereku magnetiko baten barruan, begizta baten mugimenduak, fluxu aldaketaren bat sortzen du → Begiztan potentzialak indukzitzen da → Begiztaren zirkuituan korrante bat mugitzen da
- Zirkuituaren korronteak indarra sortzen du begiztan → Motor elektrikoa

Induktantzia

- Faraday-Lenz legean agertzen da fluxu magnetikoaren aldaketaren eragina eroale baten, baina badago eragina fluxuak berak sortzen duen eraolean, bere barruko gainazalaren gainean → Autoinduktantzia
- Biot-Savart legeagatik dakigu badagoela proporzionaltasuna intentsitate eta berak sortutako fluxu magnetikoa:

$$\Phi_{mag} = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \frac{\mu_o i}{4\pi} \int_s \int_L \frac{d\vec{l} \times \vec{e}_r}{r^2} \cdot d\vec{S}$$

Induktantzia

- Integrala eroaleren formaren mempekoa da solik, beraz:

$$\Phi_{mag} = L \cdot i$$

L induktantzia deitzen den konstante bat da eta unitatea *henry* da (H)

- Faraday-Lenz legean sartzen badugu induktantzia:

$$\epsilon_{ind} = - \frac{d \Phi_{mag}}{dt} \Rightarrow \epsilon_{ind} = - \frac{d}{dt} (L \cdot i) = -L \frac{di}{dt}$$

Induktantzia

- Autoinduktantziagatik, eroale guztiak badaukate induktantzia balio bat
- Badago beste eroaleetan agertzen den eragina → Elkar-induktantzia (M)
- Zirkuituko diagrametan, induktantzia daukaten elementuen ikurra hau da:



eta gainean idazten da bere induktantzia, normalean milihenry unitatean (mH)

Induktantzia

- Iblibide itxi guztietan, potentzial diferentzia zeroa da:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = V_i - V_i = 0$$

- Ekuazioan sartzen badugu erresistentzia, kapazitatea eta induktantzia:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = Ri + \frac{1}{C} \int i dt + L \frac{di}{dt} = 0$$

- L ibilbidea $v(t)$ tentsio iturri bat daukan zirkuitu bat bada:

$$\frac{dv}{dt} = R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i + L \frac{d^2 i}{dt^2}$$

Magnetizazioa

- Kanpo eremu magnetiko baten eraginagatik, atomoak lerrokatzen dira eta atomo barruen dauden korronteagatik, eremu magnetiko berri bat sortzen da; *magnetizazioa*:

$$\vec{B}_{totala} = \vec{B}_{kan} + \mu_0 \vec{M} \quad \vec{M} : \text{magnetizazioa}$$

- Kanpo eremua \vec{H} bektore berri baten bidez adierazten da:

$$\vec{B}_{totala} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$$

- Ferromagnetiko ez diren materialetan betetzen da:

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \Rightarrow \vec{B}_{total} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H}$$

Suszeptibilitate magnetikoa : χ_m

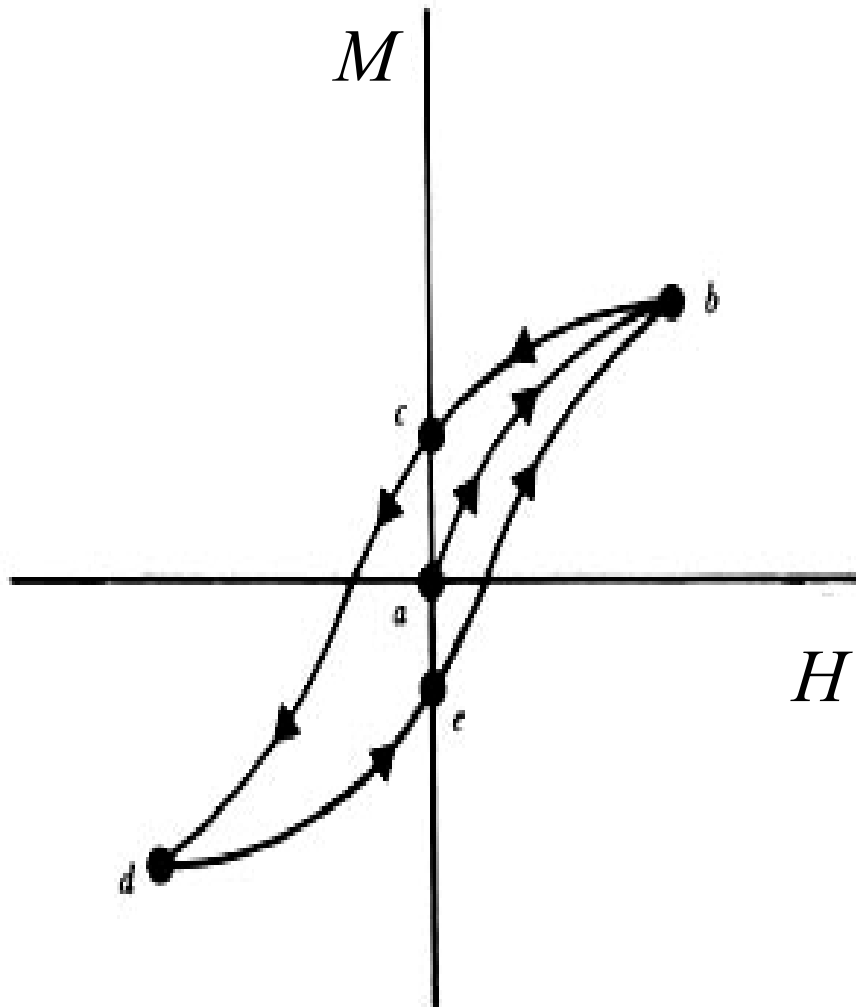
Iragazkortasun magnetikoa : $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$

Magnetizazioa

$$\vec{B}_{totala} = \mu \vec{H}$$

- Materiaren inguruan, eremu magnetikoaren adierazpenean μ_0 -ren lekuan μ agertzen da
- Material ferromagnetikoetan magnetizazioa agertzen da, nahiz eta kanpo eremu magnetikorik ez dago
- Gaiera, \vec{M} ez da \vec{H} -rekiko proportzionala, erlazioa ez-lineala da eta *histeresia* deitzen da

Magnetizazioa



- Kanpo eremu magnetiko bat aplikatzen badugu, magnetizazioa handitzen da saturaziora heldu arte
- Kanpo eremua kentzen badugu, magnetizazioa ez da desagertzen