

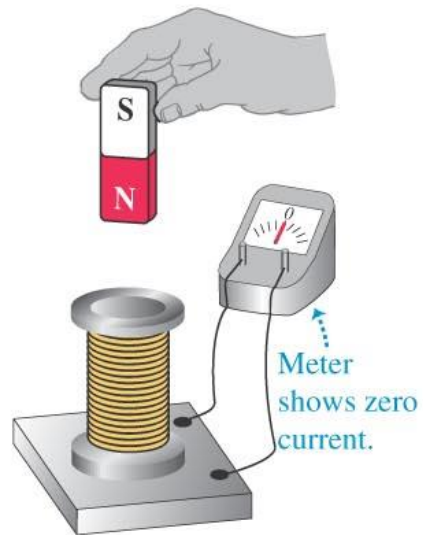
# 761103P Sähkö- ja magnetismioppi

Sähkömagneettinen induktio,  
Faradayn laki, Lenzin laki

# Induktiokokeita

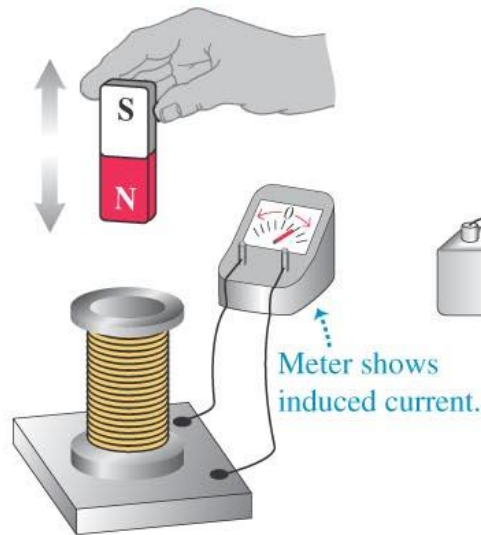
- Michael Faraday ja Joseph Henry tekivät 1830 luvulla seuraavanlaisia kokeita

(a) A stationary magnet does NOT induce a current in a coil.

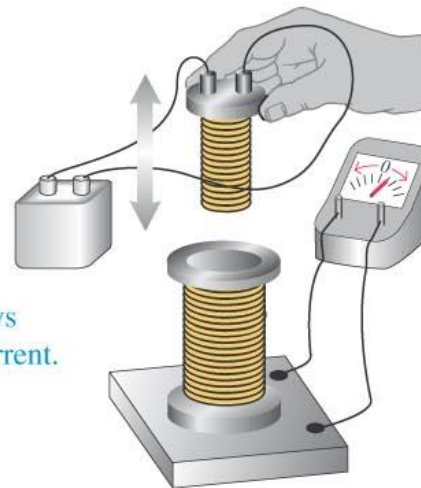


All these actions DO induce a current in the coil. What do they have in common?\*

(b) Moving the magnet toward or away from the coil



(c) Moving a second, current-carrying coil toward or away from the coil



(d) Varying the current in the second coil (by closing or opening a switch)



\*They cause the magnetic field through the coil to *change*.

# Sähkömag. induktio → Faradayn laki

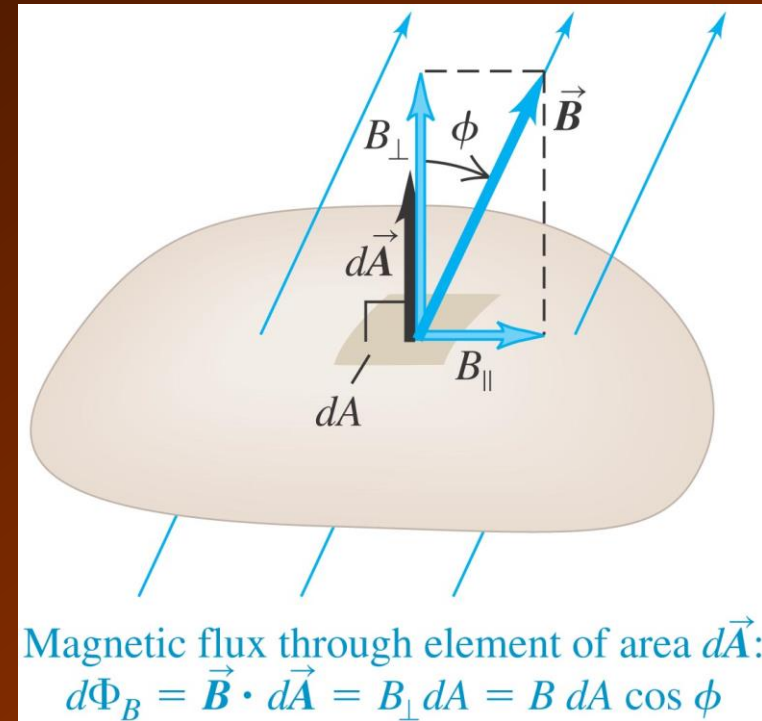
- Kokeiden tuloksena löydettiin erittäin erittäin tärkeä ilmiö, *sähkömagneettinen induktio*

- Tätä kuvaa *Faradayn laki*:

*Suljettuun silmukkaan indusoituu sähkömotorinen voima, jos silmukan läpi menevä magneettivuon muuttuu.*

*Lähdejännite on magneettivuon negatiivinen aikaderivaatta.*

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$



- Merkkisääntö:
- *Pinnan normaali mielivaltaisen!*
- *Oikean käden peukku pinnan normaalin suuntaan → sormet osoittavat mihin suuntaan sähkömotorinen voima liikuttaisi positiivisia varauksia!*

# Lenzin laki

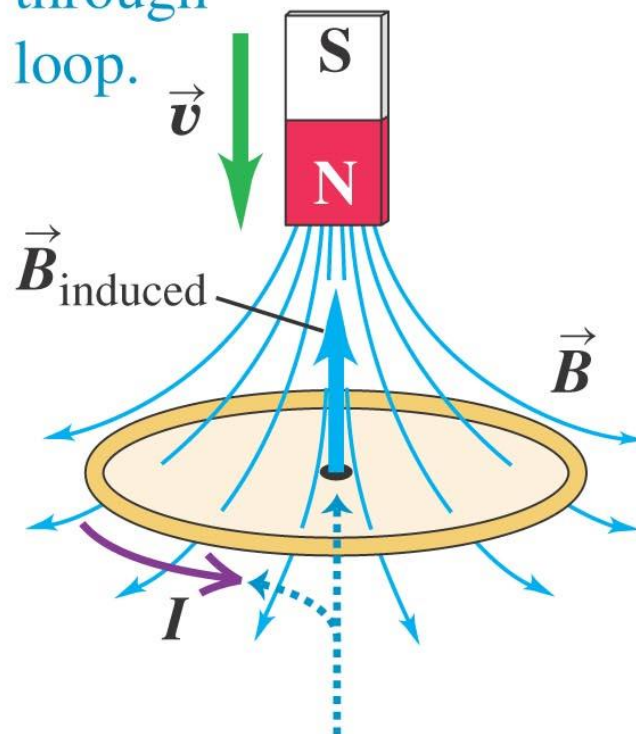
- Lenzin laki on kätevä muistisääntö indusoituneen jännitteen (virran) suunnalle.

1. Indusoitunut jännite synnyttää virran mikäli se vaikuttaa johtimeen
2. Tämä virta synnyttää oman magneettikentän.
3. Syntynyt magneettikenttä pyrkii kumoamaan sen muutoksen, joka jännitteen alunperin indusoi!

Jännite syntyy, vaikka mitään johdinta ei olisikaan!!

ESIMERKKI →

(a) Motion of magnet causes increasing downward flux through loop.



# ESIMERKKEJÄ

# Liikkeen aiheuttama lähdejännite (1)

- Kun johtava sauva liikkuu magneettikentässä *varaukset erottuvat* magneettisen voiman takia.

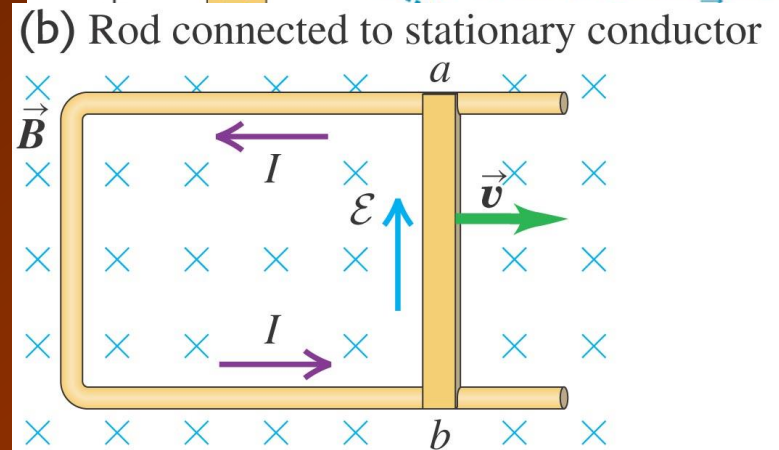
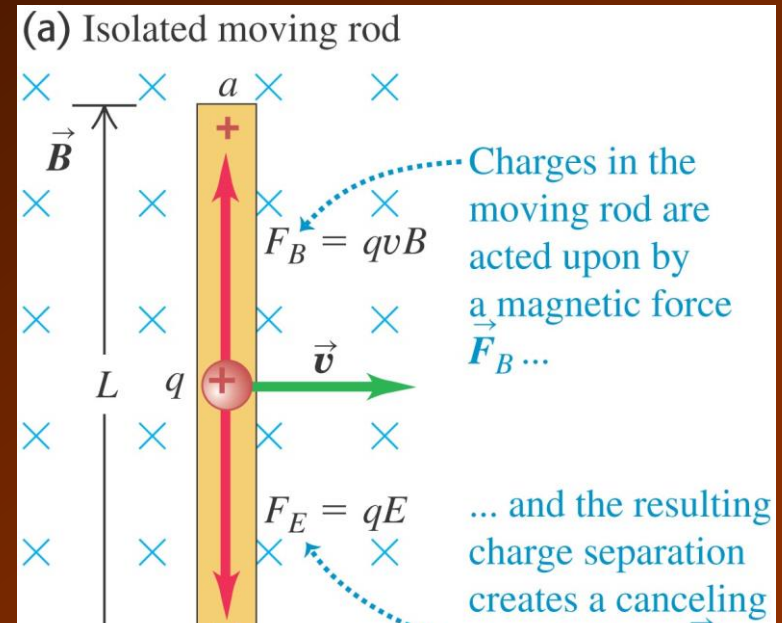
- → Syntyy sähkökenttä, joka vastustaa liikettä

- Tasapainotilassa:  $F_E = F_B$

$$qE = qvB \Rightarrow E = vB$$

- Sauvan päiden välille syntyy nyt *liikkeen indusoima lähdejännite*

$$\mathcal{E} = vBL$$



# Liiikkeen aiheuttama lähdejännite (2)

- Yleisesti *magneettikentässä liikkuvassa johtimessa tasapainotilassa:*

$$\vec{F}_E + \vec{F}_B = 0$$

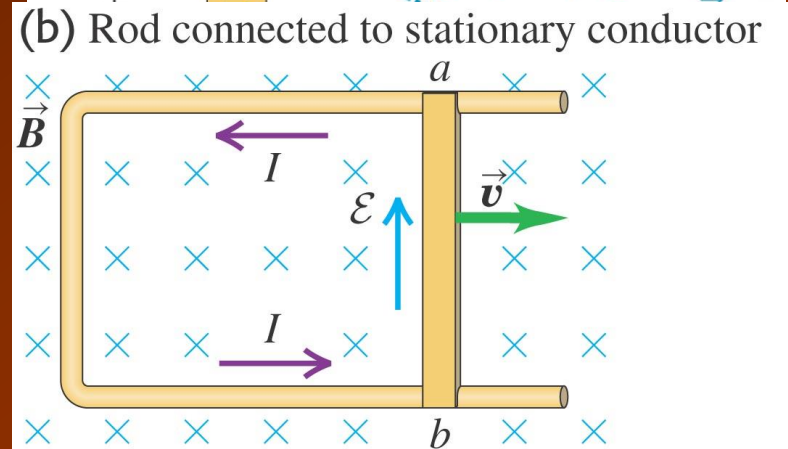
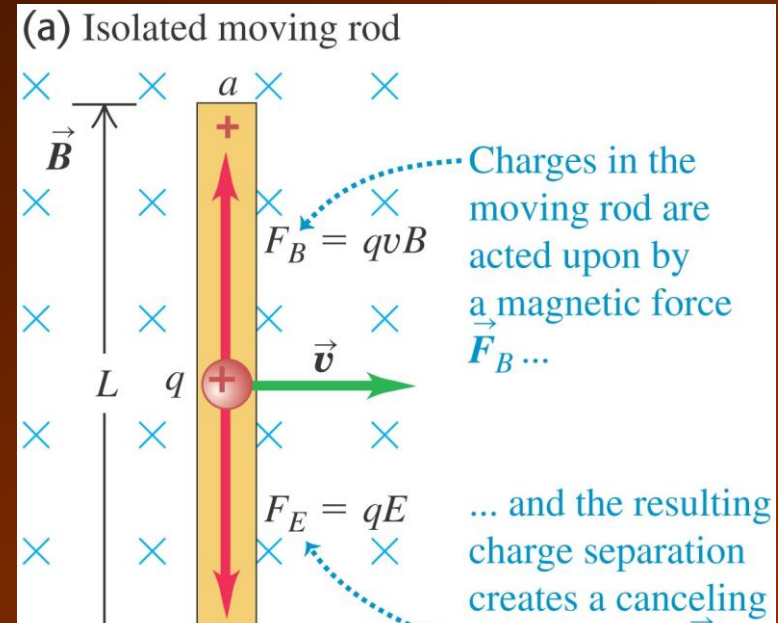
$$q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = 0$$

- Sähkökenttä johtimessa on:

$$\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$$

- Jos johdin on suljettu silmukka, *potentiaalın muutos silmukan ympäri* on:

$$\mathcal{E} = -\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$



The motional emf  $\mathcal{E}$  in the moving rod creates an electric field in the stationary conductor.

# ESIMERKKEJÄ



# Indusoitunut sähkökenttä

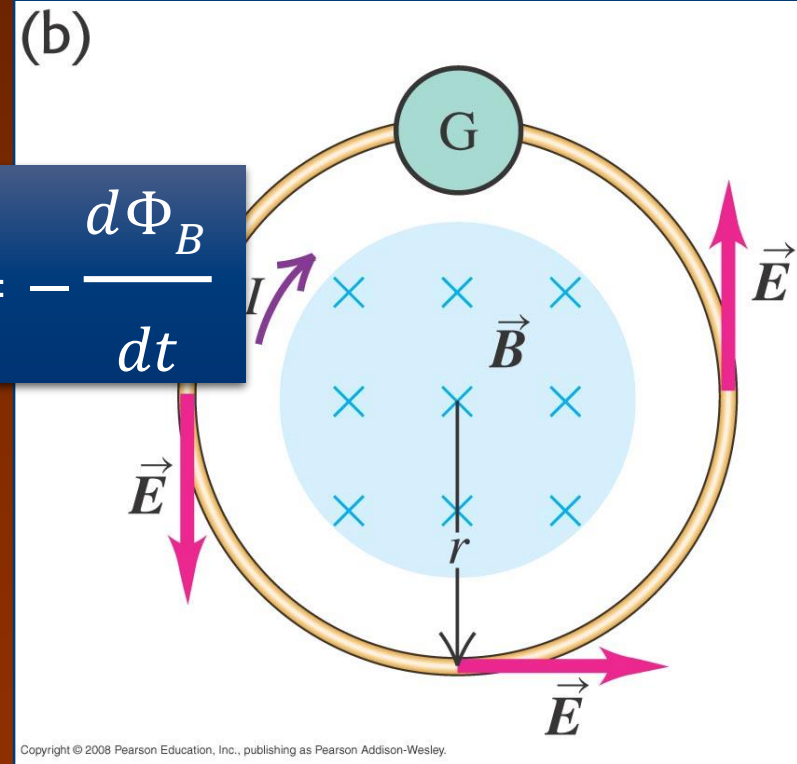
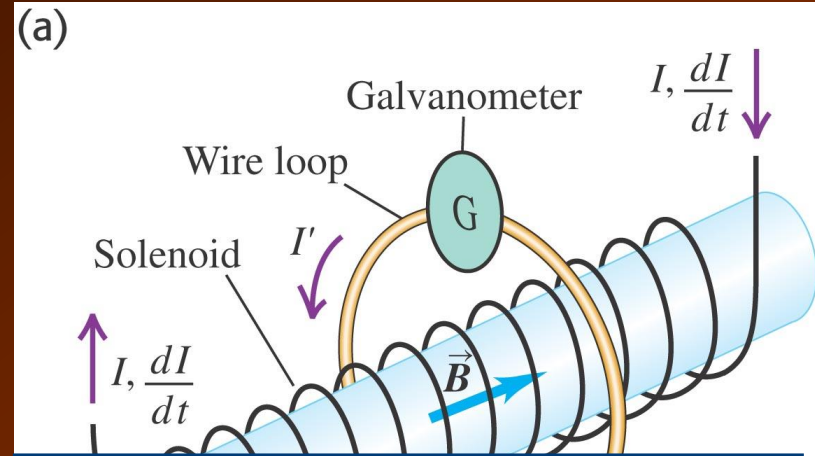
- Kuvan mukaisessa tilanteessa silmukkaan indusoituu virta, mutta mikä voima saa varaukset liikkeelle?
- → Silmukkaan *indusoituu sähkökenttä!*

- Kun varas liikkuu silmukan ympäri, kenttä tekee työn:

$$W = \oint q\vec{E} \cdot d\vec{l} = q\mathcal{E}$$

- → Faradayn laki voidaan kirjoittaa nyt myös muotoon

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$



# Indusoitunut sähkökenttä (2)

- Indusoituneen sähkökentän ja sähköstaattisen kentän välillä on *perustavanlaatuisia eroja!*

1. *Indusoitunut kenttä syntyy magneettikentän muuttuessa! Kenttä on avaruudessa, vaikka mitään johdinta ei olisikaan!*
2. *Sen kenttäviivat ovat suljettuja silmukoita!! (vrt. varauksen sähkökenttä)*
3. *Indusoitunut kenttä EI OLE konservatiivinen!*

