

# FY6

Sähkömagneettinen induktio

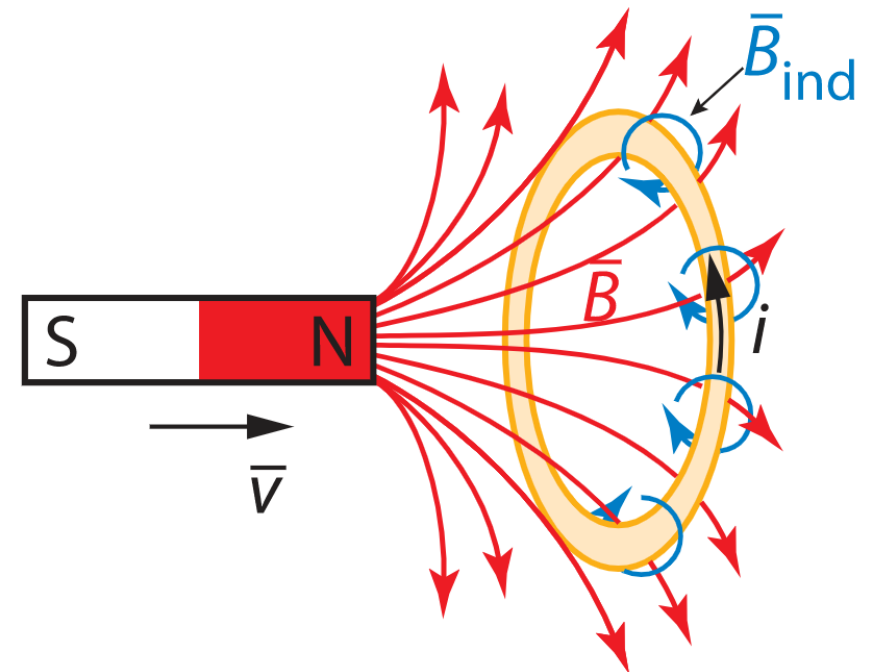
# Sähkömagneettinen induktio

## Sähkömagneettinen induktio

Kun johdin on muuttuvassa magneettikentässä, siihen indusoituu jännite. Tämä aiheuttaa suljettuun virtapiiriin sähkövirran (induktiovirran). Ilmiötä kutsutaan sähkömagneettiseksi induktioksi.

Huomaa, että induktiojännitettä ja -virtaa merkitään pienillä kirjaimilla  $e$  ja  $i$ .

Indusoitunutta magneettikenttää merkitään  $\vec{B}_{\text{ind}}$



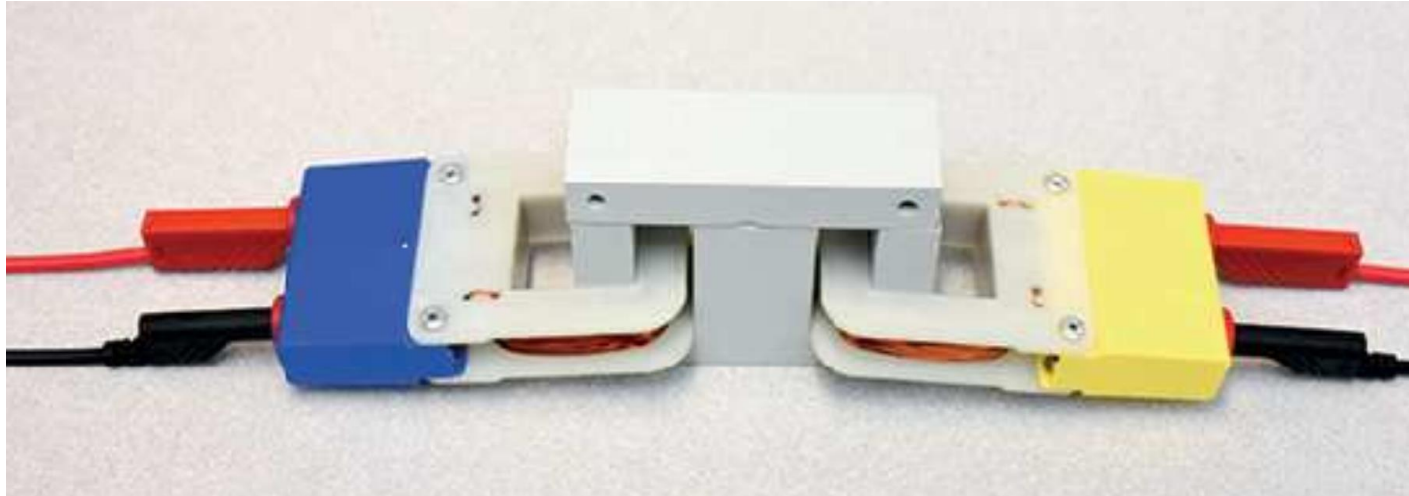
# Lenzin laki

Induktiovirta on suunnaltaan sellainen, että sen vaikutukset vastustavat muutosta, josta induktio aiheutuu.

Lenzin lain mukaan

- vahvistuva ulkoinen magneettikenttä synnyttää induktiovirran, joka puolestaan synnyttää alkuperäiselle ulkoiselle magneettikentälle vastakkaissuuntaisen kentän, joka vastustaa magneettivuon kasvua renkaan sisällä.
- heikkenevä ulkoinen magneettikenttä synnyttää induktiovirran, joka puolestaan synnyttää alkuperäisen ulkoisen magneettikentän suuntaisen kentän, joka vastustaa magneettivuon pienenemistä renkaan sisällä.

# Induktiivinen kytkentä



## **Induktiivinen kytkentä**

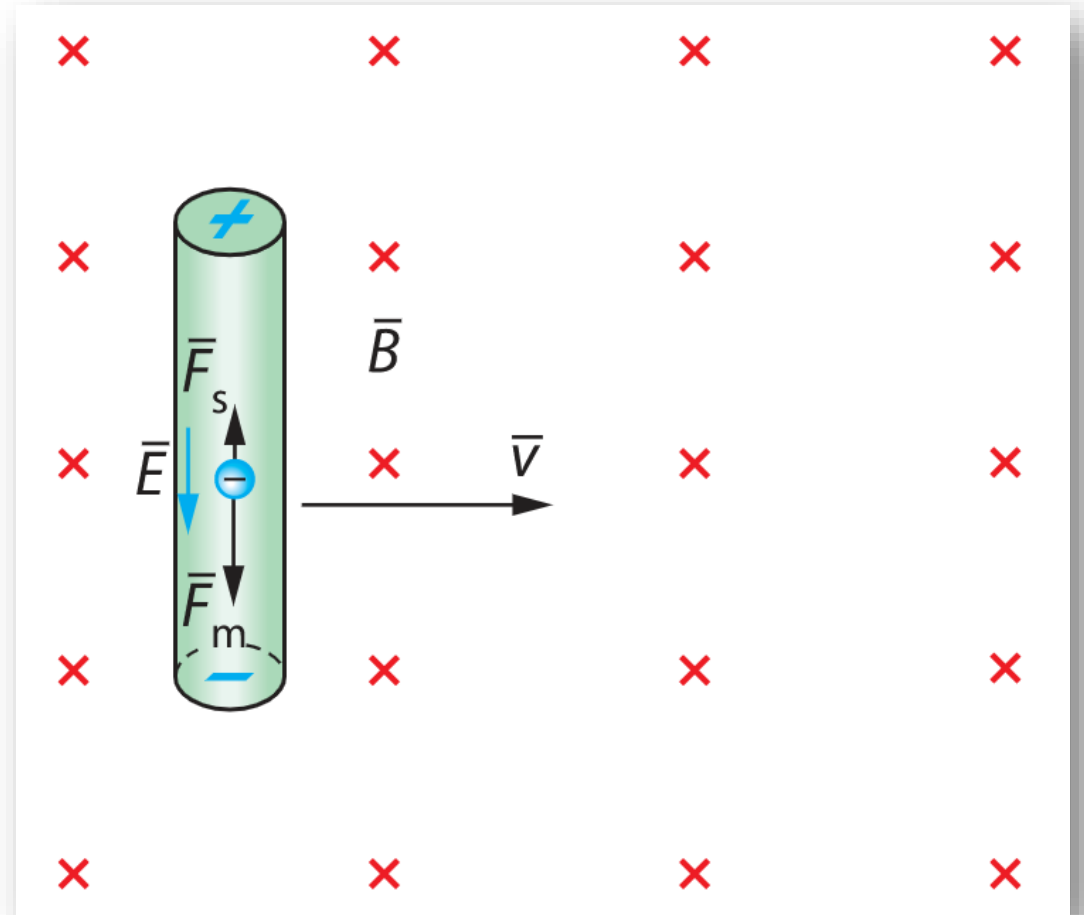
Käämejä, jotka aiheuttavat magneettivuon toistensa läpi, sanotaan induktiivisesti kytketyiksi käämeiksi.

# Johtimen liike magneettikentässä

Johtimen liike  
magneettikentässä.

# Suoran johtimen induktiolaki

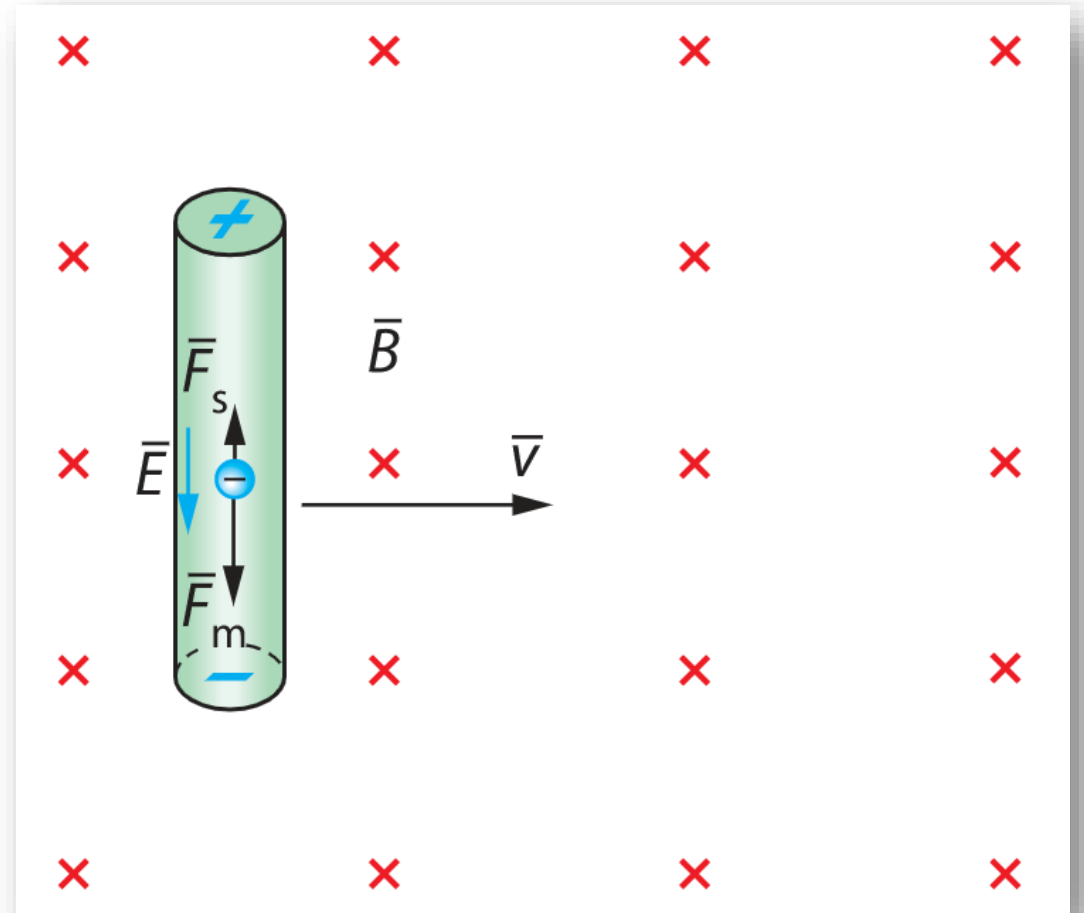
- Kun suora johdin liikkuu magneettikentässä, sen päiden välille voi indusoida jännite.
- Indusoitunutta jännitettä merkitään kirjaimella  $e$ .



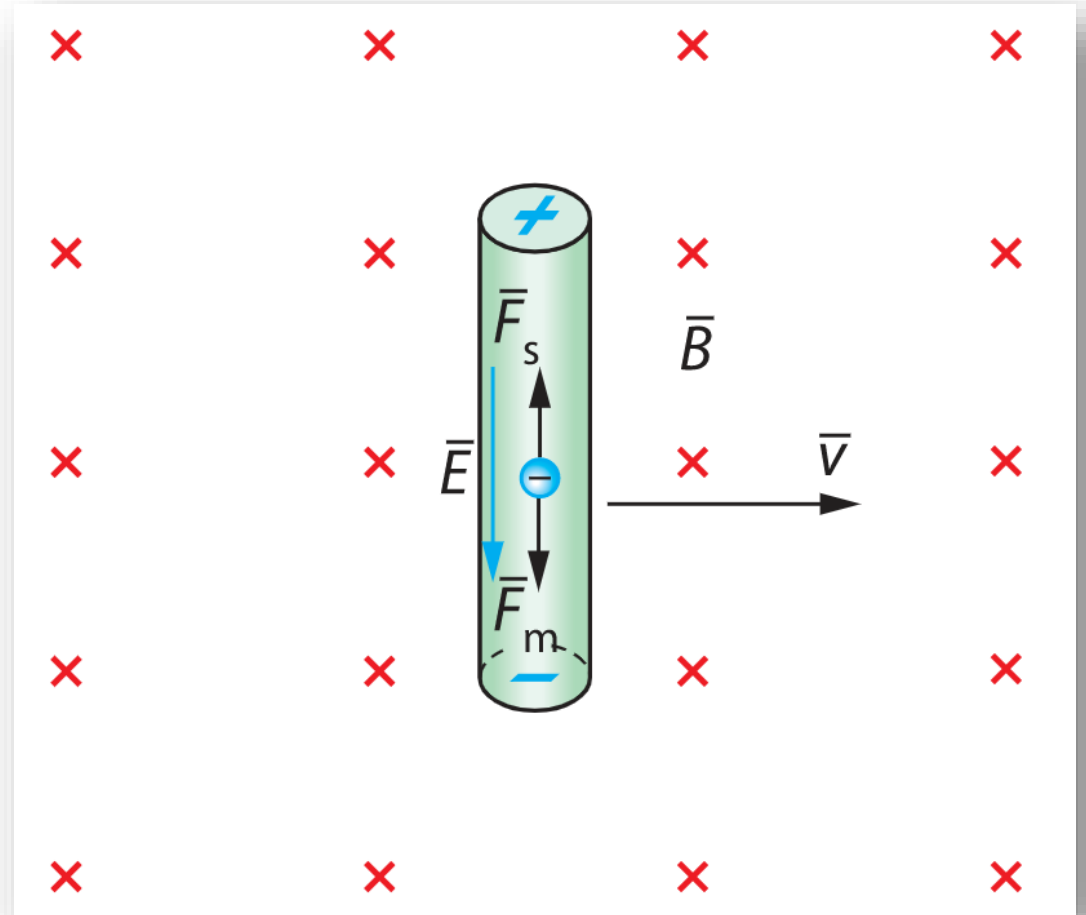
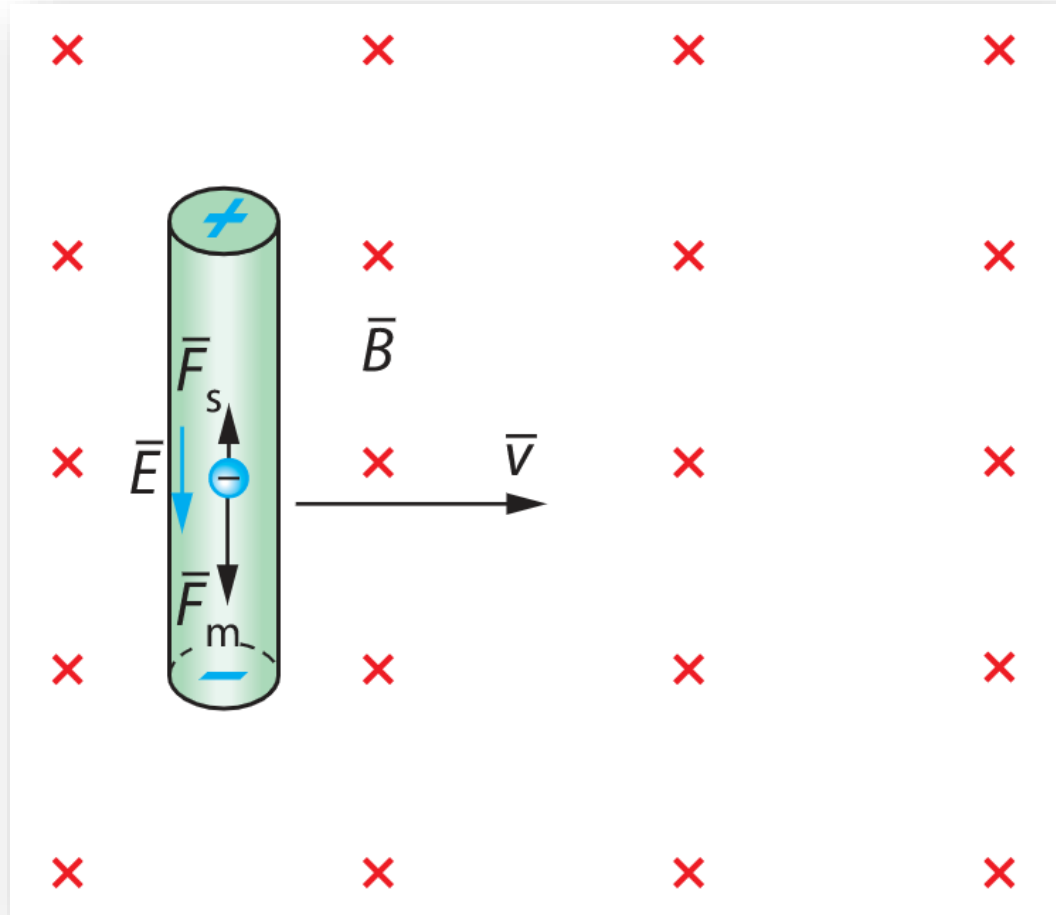
# Miten jännite syntyy?

Kun johdin liikkuu, johtimessa oleviin elektroneihin vaikuttaa magneettinen voima. Kuvassa magneettisen voiman suunta on alas.

Elektroneja alkaa liikkua magneettisen voiman vaikutuksesta johtimen alaosaan, jolloin sinne syntyy negatiivinen osittaisvaraus (-) ja johtimen yläosaan elektronien vajoaus (+). Syntyy sähkökenttä  $E$ .



Tasapainotila on saavutettu, kun  $F_s = F_m$



# Suoran johtimen induktiolaki

$$F_s = F_m$$

$$qE = qvB \quad | : q$$

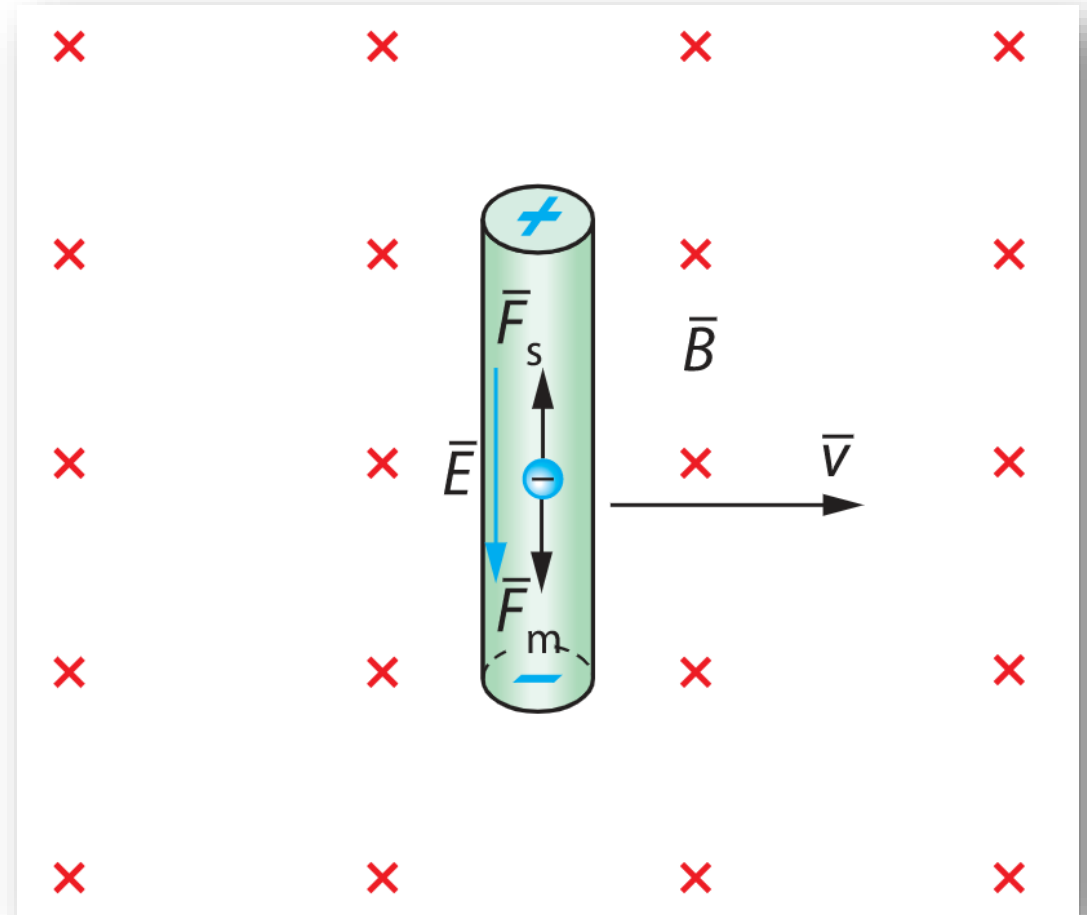
$$E = vB$$

$$\frac{e}{l} = vB \quad | \cdot l$$

$$e = lvB$$

Homogeenisen sähkökentän jännite eli potentiaaliero on  $U = Ed$ .

Nyt induktiojännite  $e = El$ , missä  $l$  on johtimen päiden välinen etäisyys



# Suoran johtimen induktiolaki

## Suoran johtimen induktiolaki

Kun suora johdin liikkuu poikittain vakionopeudella kohtisuorasti homogeenista magneettikenttää vastaan, johtimen päiden välille indusoituu jännite (lähdejännite)

$$e = lvB, \quad \text{MAOL s. 132}$$

jossa  $l$  on johtimen magneettikentässä olevan osan pituus,  $v$  johtimen nopeuden ja  $B$  magneettivuon tiheyden suuruus.

Jos  $l$ ,  $v$  ja  $B$  eivät ole kohtisuorassa toisiaan vastaan, valitaan sopiva kohtisuora komponentti.

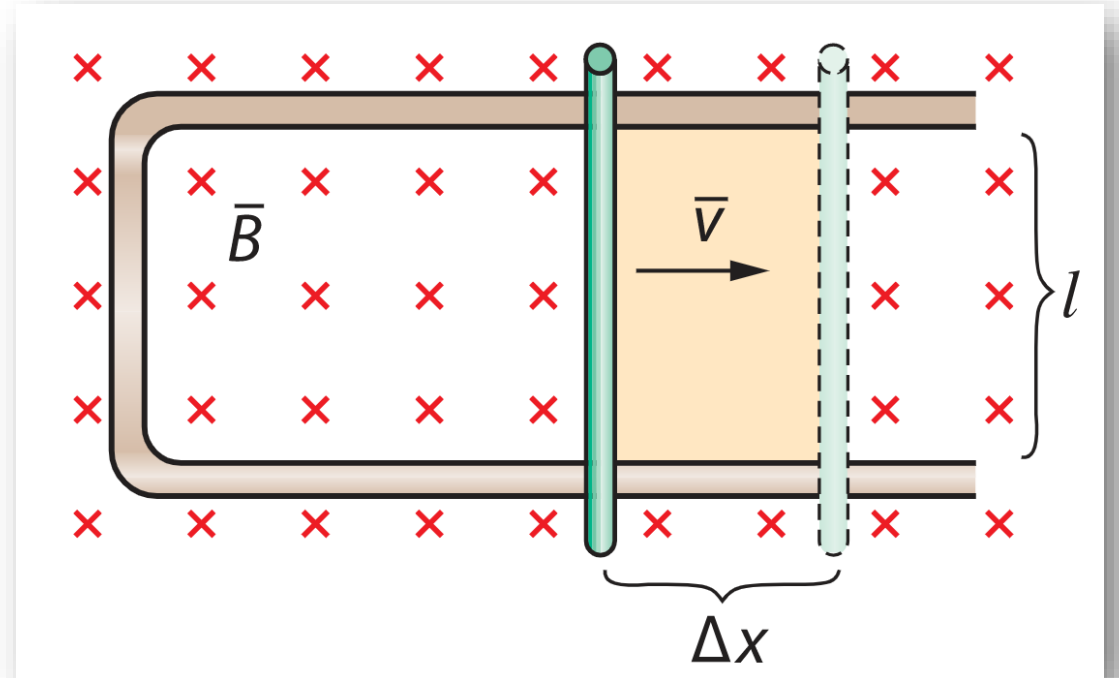
# Silmukan läpäisevän magneettivuon muutos

Kun johdin liikkuu vakionopeudella  $v$ , se kulkee ajassa  $t$  matkan  $\Delta x = v\Delta t$ .

Silmukan pinta-alan muutos on tällöin  $\Delta A = l\Delta x = lv\Delta t$ .

Magneettivuon muutos on siis

$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= \Delta AB \\ &= \underbrace{lv\Delta t}_\Delta B \\ &= \underbrace{lvB\Delta t}_e = e\Delta t\end{aligned}$$



# Induktiolaki

Magneettivuon muutos  $\Delta\Phi = e\Delta t$  aiheuttaa induktiojännitteen:

$$e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

## Induktiolaki

Kun magneettivuo johdinsilmukan läpi muuttuu, silmukkaan indusoi-  
tuu keskimääräinen induktiojännite (lähdejännite)

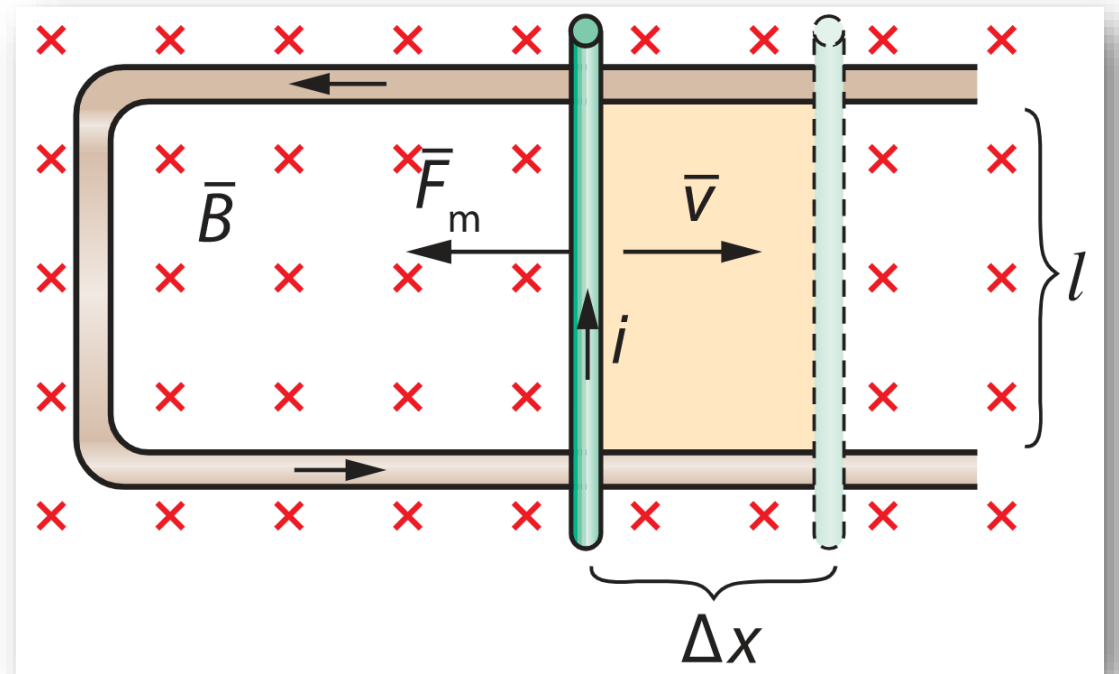
$e_k = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ , jossa  $\Delta\Phi$  on magneettivuon muutos ja  $\Delta t$  vuon muutok-  
seen kulunut aika.

Kaavassa oleva **miinusmerkki** kuvaa sitä, että indusoituneen jännitteen synnyttämän induktiovirran aiheuttama magneettikenttä pyrkii **vastustamaan** magneettivuon muutosta.

# Induktiolaki

**Lenzin laki:** Induktiovirran suunta on sellainen, että se pyrkii vastustamaan muutosta

→ Johtimeen kohdistuva **magneettinen voima  $F_m$**  on liikkeen suunnalle **vastakkainen**.



# Induktiolaki

Keskimääräinen induktiojännite

$e_k$  on

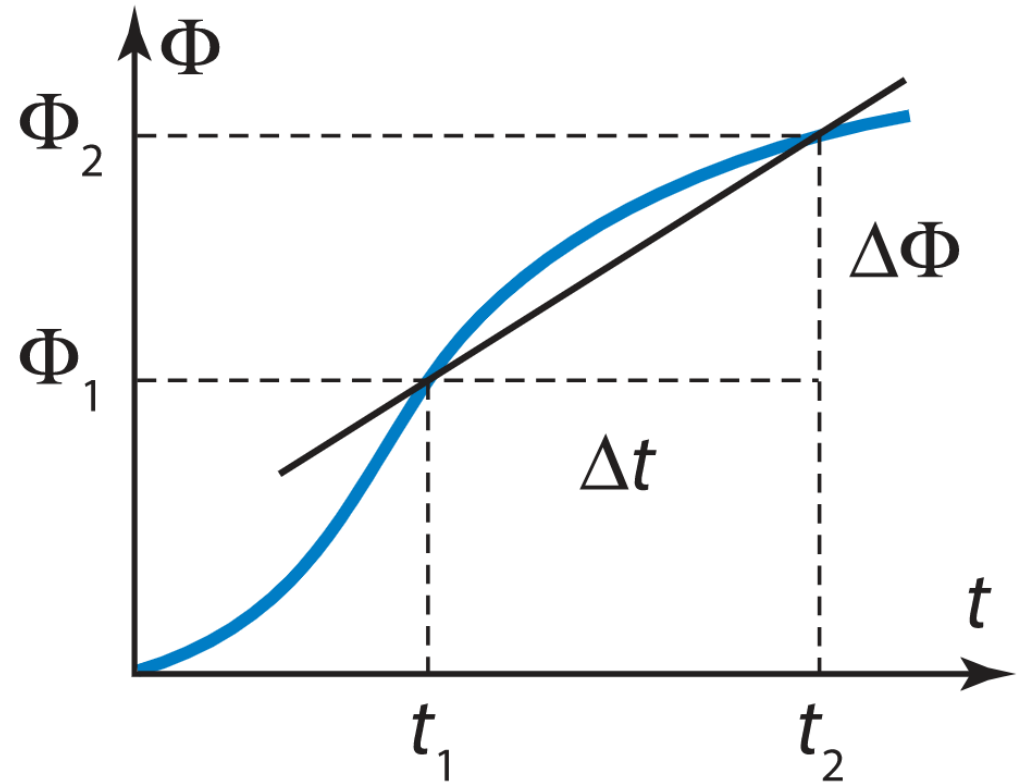
$$e_k = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$\Delta\Phi$  = magneettivuon muutos

$\Delta t$  = vuon muutokseen kulunut aika

Käämiin indusoitunut keskimääräinen jännite on

$e_k = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ , kun  $N$  on käämin kierrosluku.

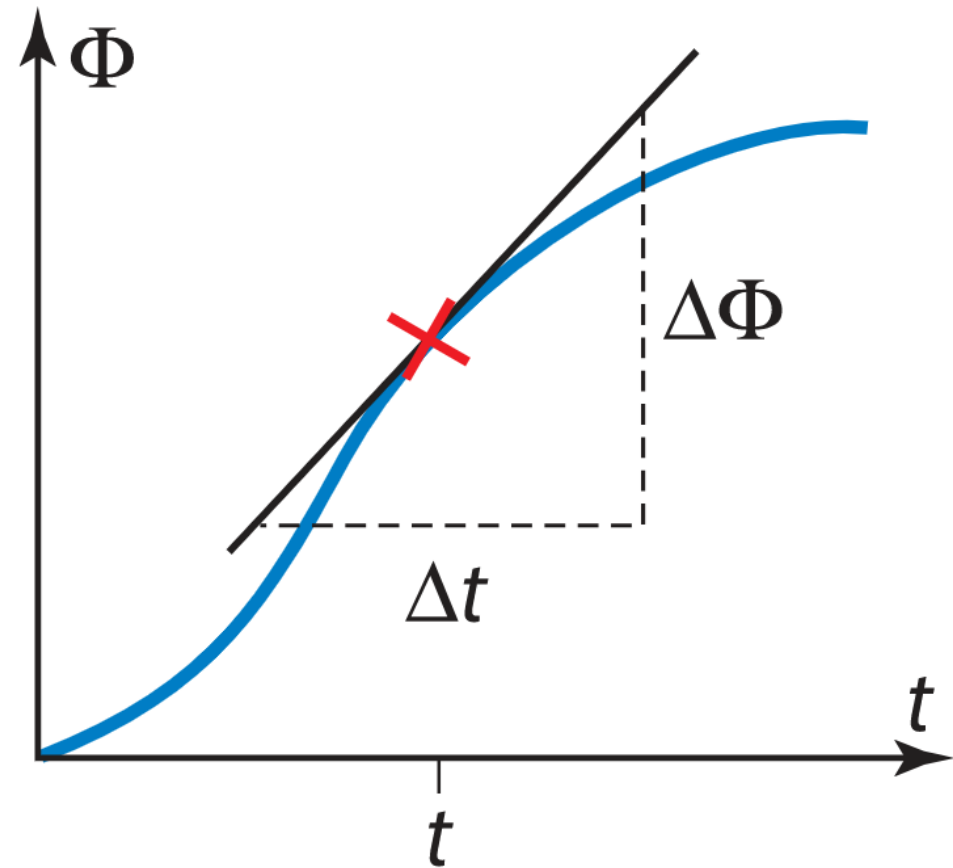


# Faradayn induktiolaki

Hetkellinen induktiojännite  $e$  on

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$\frac{d\Phi}{dt}$  = magneettivuon  
muutosnopeus eli sen  
derivaatta ajan suhteen



# Magneettivuon muutosnopeuteen vaikuttavia tekijöitä

Magneettivuon muutosnopeuteen (ja induktiojännitteen suuruuteen) vaikuttavia tekijöitä ovat

- Virtajohtimen / käämin etenemis**nopeus**
- Silmukan läpäisevän magneettivuon suuruus (**käämin asento**)

Ks. Kuvat s. 108

# Pyörrevirrat

Pyörrevirrat, putoaminen.

# Pyörrevirrat

Pyörrevirrat:  
pyörivä magneetti.

Pyörrevirrat

Pyörrevirrat.

# Pyörrevirrat

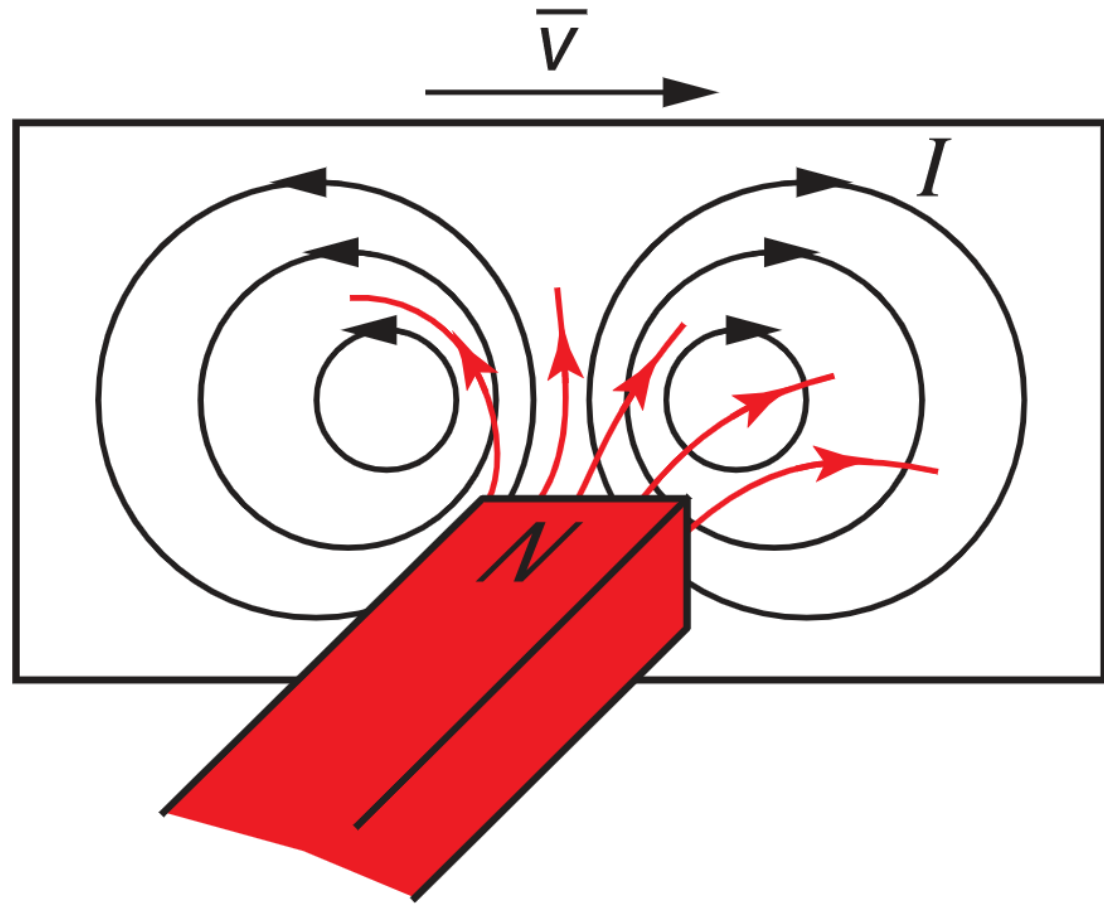
## **Pyörrevirrat**

- Magneetikentässä liikkuvaan metallilevyyn indusoituu sähkövirtoja niihin alueisiin, joissa magneettivuo muuttuu. Näitä sähkövirtoja nimitetään pyörrevirroiksi.
- Pyörrevirrat aiheuttavat tehohäviöitä mm. generaattoreissa, moottoreissa ja muuntajien rautasydämissä.

# Pyörrevirrat

Pyörrevirtojen suunta on sellainen, että ne vastustavat magneettikentän muutosta.

Mietin ensin indusoituvan magneettikentän  $\vec{B}_{ind}$  suunta ja sitten induktiovirran suunta oikean käden säännöllä.



# Pyörrevirtojen vähentäminen

Metallipinnan rikkonaisuus vähentää pyörrevirtoja.

