

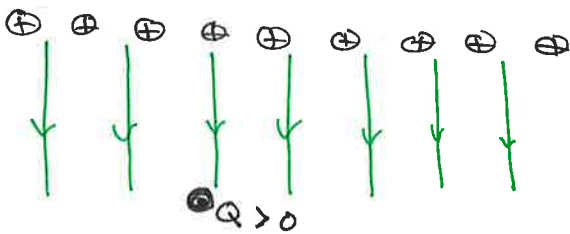
# Sähkö- ja magneettikentät

- kokeeseen :
  - osattava selittää/piirtää varauksen/virran synnyttämä sähkökenttä/magneettikenttä (lakimoteliina)
    - mistä kenttäviivat alkavat/päättyvät
    - minne kenttäviivat osoittavat
    - oleelliset kvalitatiiviset piirteet
  - yhteys sähkö- ja magneettikentillä koordinaatistovalintaan

## Luentodemoja :

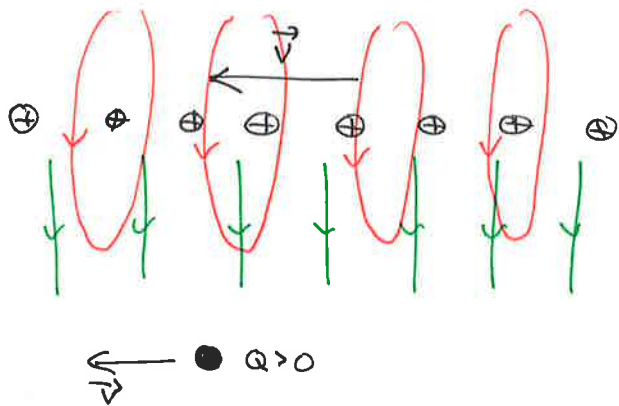
- + kompassi
- + kompassi + virtajohdin
- + alumiiniputki + magneetti
- + viivoitin + paperinpalat
- + magneetti + sähkömagneetti

## Sähkömagneettinen kenttä



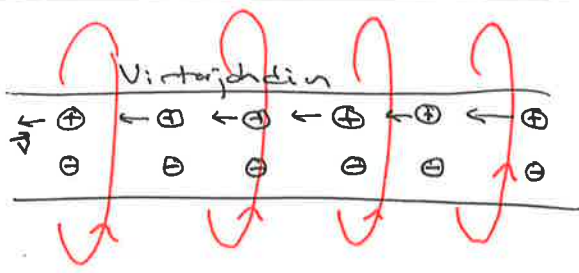
(miltä näköinen kenttä  $\vec{E}$ ?  
mistä alkaa, minne loppuu,  
mitä on ole piirtänyt?)

Sama mutta tarkasteltuna liikuvasta koordinaatistosta



- millainen kenttä  $\vec{E}$ ?
- mitä  $\vec{B}$ ?
- miten testivarauksen  $q$  kokema voima eroaa y.o. tapauksesta?
- ontko meillä ongelma?

• Sähkö- ja magneettikentät ovat yhden ja saman (sähkömagneettisen) kentän ilmenemismuotoja.



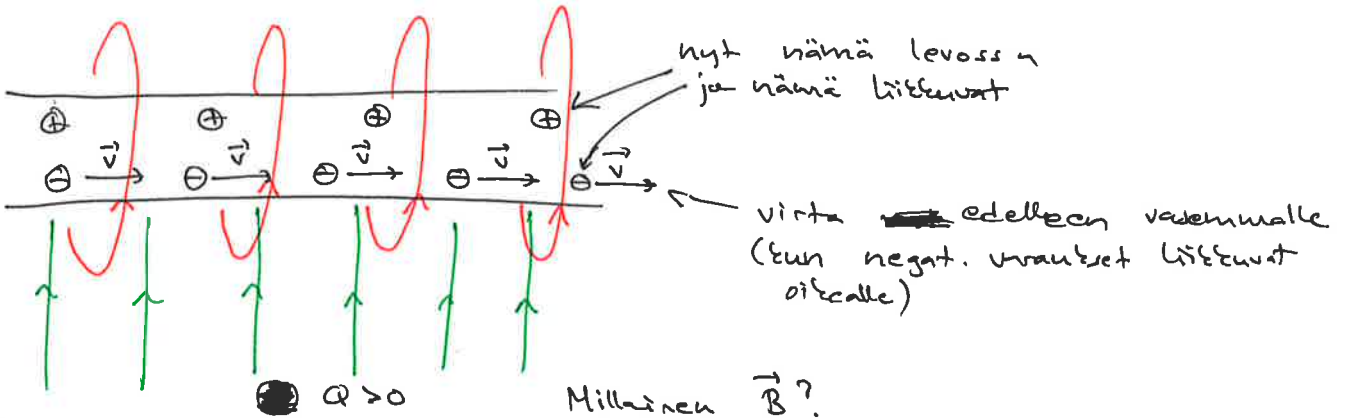
Kokonaisvarauskheys  $\rho = 0$

Millainen  $\vec{B}$ ?

Mitä voimat kohdittavat testivaraukseen?



Eritä koordinaatistossa jossa testivaraus alkuun levossa?  
 (huom. yo  $\oplus$ -varauksilla yksinertaisuuden vuoksi sama nopeus  $\vec{v}$ )



Millainen  $\vec{B}$ ?

Nyt testivaraus pitkälläan, millaiset voimat siihen vaikuttavat?

Millainen  $\vec{E}$ ? Mistä se syntyy?

Mitä on nyt kokonaisvarauskheys?

# Sähkömagneettinen säteily

Maxwellin yhtälöt tyhjiössä (ei varauksia tai sähkövirtoja)

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_{\mathcal{A}} \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0 \\ \oint_{\mathcal{A}} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \\ \oint_{\mathcal{L}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_{\mathcal{A}} \vec{B} \cdot d\vec{A} \\ \oint_{\mathcal{L}} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_{\mathcal{A}} \vec{E} \cdot d\vec{A} \end{array} \right.$$

Faradayn laki Maxwell-Ampere'n laki

Maxwellin yhtälöt sallivat rattaamisen, jossa sähkö- ja magneettikentät synnyttävät toinen toisiaan  $\Rightarrow$  sähkömagneettinen aalto.

Voidaan osoittaa että esimerkiksi tasoaaltoyritte toteuttaa Maxwellin yhtälöt:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{E}(x, y, z) = E_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right) \hat{y} = E(x, t) \hat{y} \\ \vec{B}(x, y, z) = B_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right) \hat{z} = B(x, t) \hat{z} \end{array} \right.$$

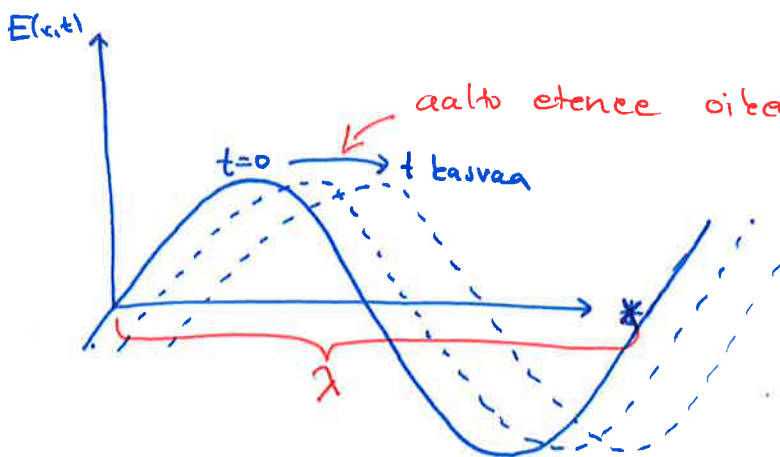
Väriheilyn amplitudi.

Voidaan osoittaa

rauaehto  $\frac{E_0}{B_0} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

eivät riipu y, z-koordinaateista  $\rightarrow$  taso aalto

taajuus f  
aallonpituus  $\lambda$



aalto etenee oikealle kun aika t kasvaa  
Aalto etenee aallonpituutensa  $\lambda$  verran ajassa  $T = 1/f$ .

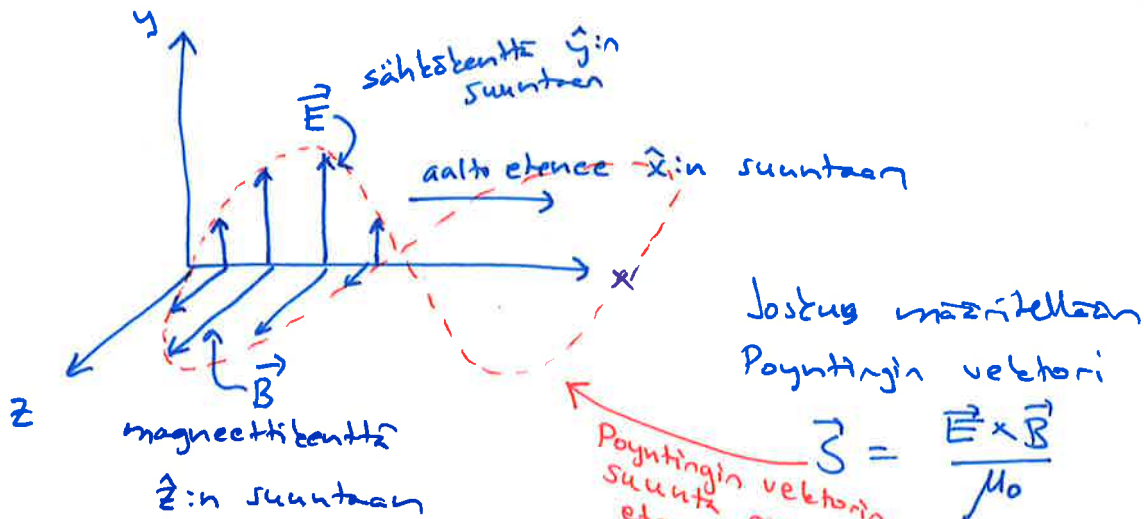
$\Rightarrow$  aallon etenemisnopeus

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Pittällinen laatu... Sähkömagneettien aallon etenemisnopeus

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = c = \text{valon nopeus}$$

Huomaa: yrittäen aalto etenee positiivisen x-akselin suuntaan mutta sähkökenttä osoittaa suuntaan  $\hat{y}$ :



$$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$$

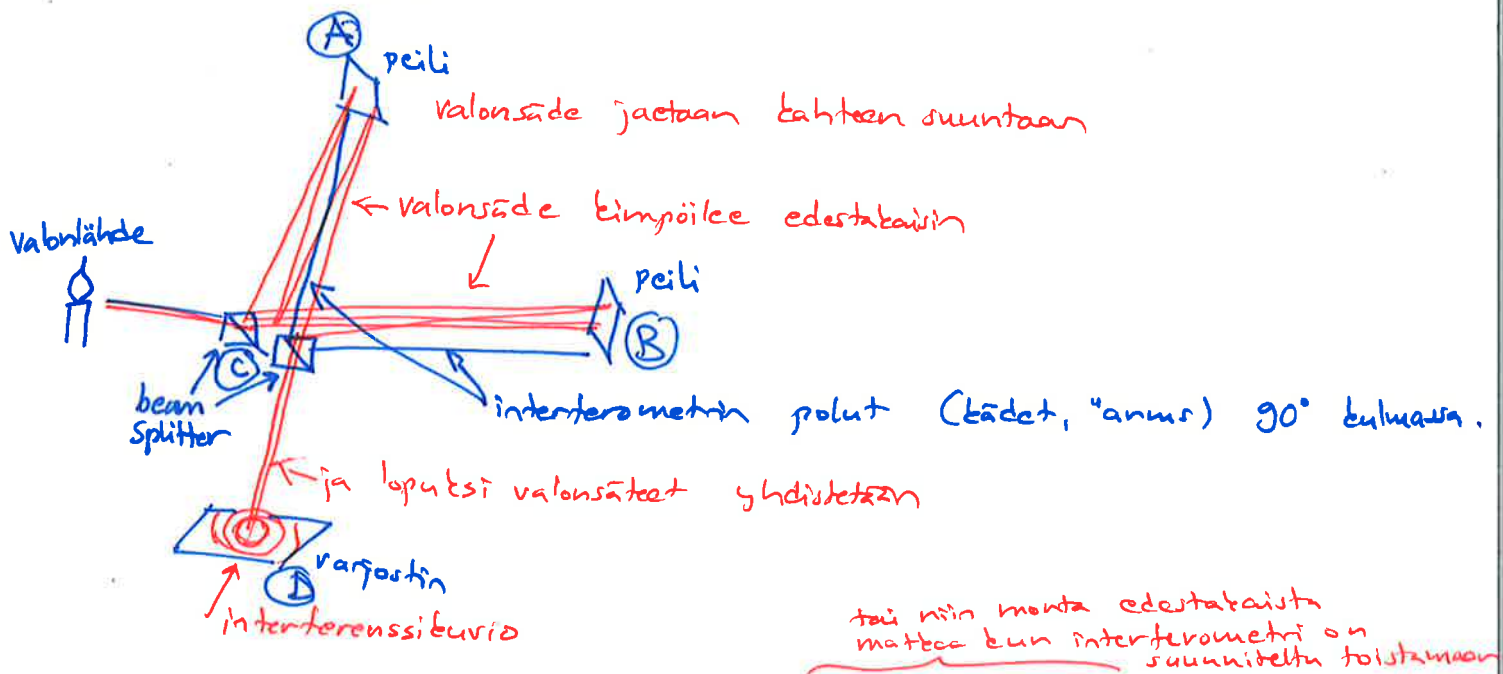
Poyntingin vektorin suunta on säteilyn etenemissuunta. Sen suuruus on säteilyn teho pinta-alayksikköä kohti.

Lisää huomioita:

- $\vec{E}$ :n suunta kertoo säteilyn polarisaatiosuunnan
- $\vec{E}$  ja  $\vec{B}$  samassa vaiheessa, eli molemmat saavuttavat maksimin samassa ajassa ja paikassa.

# Michelson - Morley interferometrikoe

## Michelsonin interferometri



Jos valonsäteelle kuluu polulla  $C \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow D$   
 eri aika kuin polulla  $C \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ ,  
 saapuvat valonsäteet varjostimelle  $D$  eri vaiheessa.

Vaihe-ero määrää millainen interferenssikuvio varjostimella  
 nähdään  $\rightarrow$  Interferenssikuvioista voidaan päätellä  
 polulla  $C \rightarrow A$  ja  $C \rightarrow B$  kuluva aika-ero.

Aika-ero voi syntyä <sup>tai muuttua</sup> jos

- aalto (valonsäde) etenee eri nopeuksilla eri suuntiin (Michelson-Morleyn koe)
- interferometrin "käsien" pituudet muuttuvat (LIGO, gravitaatioaallot)