

Luku 7 Varatun hiukkasen liike homogeenisessa sähkö- ja magneettikentässä

Magneettinen voima

Hiukkaseen vaikuttaa magneettikentässä voima, jos

- hiukkasella on sähkövaraus ja
- hiukkanen liikkuu ja
- hiukkasen liikkeen suunta poikkeaa magneettikentän suunnasta.

- Opetus tv, FY6 Sähkömagnetismi, 2. Varattu hiukkanen magneettikentässä (1. Teoriaa)



Varattujen
hiukkasen liike
magneettikentässä

Magneettinen voima

– varattu hiukkanen liikkuu kohtisuoraan magneettikenttää vastaan $\vec{v} \perp \vec{B}$

– hiukkaseen kohdistuu voima \vec{F}_m

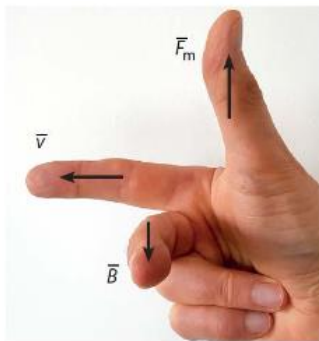
suuruus $F_m = q \cdot v \cdot B$ q = hiukkasen varauksen itseisarvo

v = hiukkasen nopeus

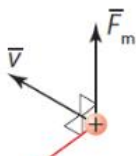
B = magneettivuon tiheys

$\vec{F}_m \perp \vec{v}$ ja $\vec{F}_m \perp \vec{B}$

suunta: oikean käden sääntö



Oikean käden sääntö.
Negatiivisesti varatulle hiukkaselle
voima on peukalon suunnalle
vastakkainen.



Huom: etusormi on positiivisen varauksen liikesuunta

yleisesti $F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$

α = nopeusvektorin ja magneettikentän välinen kulma

– jos $\vec{v} \parallel \vec{B}$ niin $\alpha = 0^\circ$, $\sin 0^\circ = 0$ ja voima $F_m = 0$

- s 62 kuva

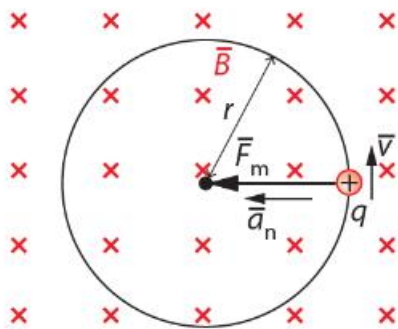
- esim 1

- esim 2 , nopeusvalitsin

Varatun hiukkasen liike magneettikentässä

- varattu hiukkanen q liikkuu tyhjiössä homogeenisessa magneettikentässä vakiovauhdilla kohtisuorasti kenttäviivoja vastaan

$$\vec{v} \perp \vec{B}$$



Koska magneettinen voima on koko ajan kohtisuorassa varatun hiukkasen nopeutta vastaan, magneettinen voima kaareuttaa varatun hiukkasen rataa mutta ei muuta sen ratanopeutta.

- varaukseen vaikuttava voima

$$F_m = q \cdot v \cdot B$$

$$\vec{F}_m \perp \vec{v} \quad \vec{F}_m \perp \vec{B}$$

- magneettinen voima ei tee työtä →
liike-energia ei muutu →
ratanopeus on vakio

- hiukkanen liikkuu **ympyrärataa** pitkin
- hiukkasella vain normaalikiihtyvyyttä

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

- tasainen ympyräliike (suuruus ei muutu, suunta muuttuu)

Newtonin 2. laki $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}_n$

magneettinen voima = keskeisvoima

$$F_m = ma_n$$

$$qvB = m\frac{v^2}{r}$$

$$\Rightarrow \text{ympyräradan säde } r = \frac{mv}{qB}$$

$$\text{kulmanopeus } \omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

$$\text{kierrosaika } T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

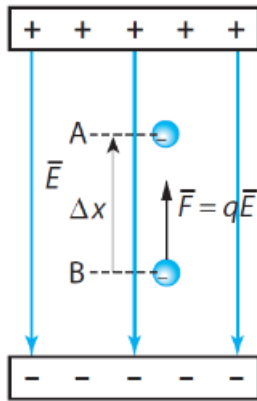
- esim 3

- teht 7-2, 7-4, 7-5

Varattu hiukkanen sähkökentässä

- hiukkanen liikkuu tyhjiössä
- hiukkaseen kohdistuvaa painoa ei oteta huomioon

homogeeninen sähkökenttä



sähkökentän voimakkuus \vec{E}

– varaukseen q kohdistuva sähköinen voima

$$F_s = q \cdot E$$

tekee työn $W = F_s \cdot \Delta x = qE\Delta x$

kiihdytysjännite $U = E \cdot \Delta x$

työ $W = q \cdot U$

Sähköisen voiman tekemä työ on positiivinen, koska voima ja siirtymä ovat samansuuntaiset.

työ – energiaperiaate $W = \Delta E_k$

$$W = \frac{1}{2}mv_i^2 - \frac{1}{2}mv_a^2$$

jos $v_a = 0$

$$q \cdot U = \frac{1}{2}mv_i^2$$

q = varauksen itseisarvo

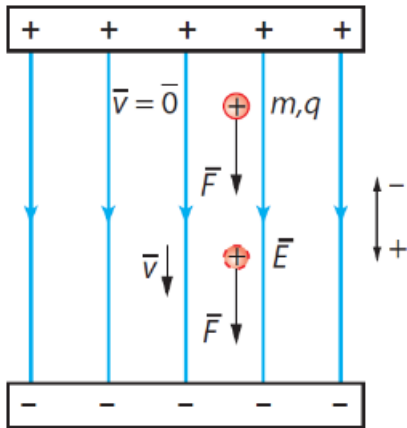
U = kiihdytysjännite

- esim 4, yksikkötarkastelu

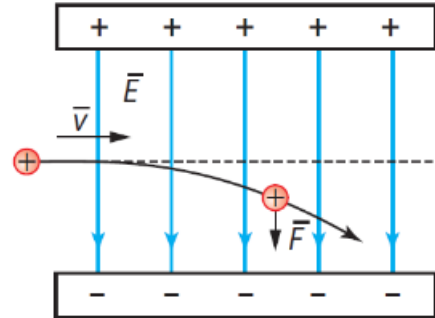
Varatun hiukkasen liikkeen vertailu sähkö- ja magneettikentässä

sähkökenttä

- varattuun hiukaseen vaikuttaa aina sähköinen voima
- homogeeninen sähkökenttä , sähköinen voima on vakio



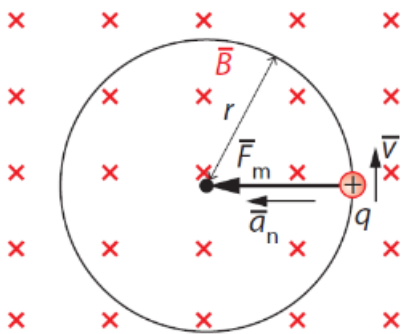
- kenttäviivojen suuntaisesti tai niitä vastaan
- kiihtyvä suoraviivainen liike



- kohtisuorasti kenttäviivoja vastaan
- hiukkasen rata kaareutuu

magneettikenttä

- varattuun hiukaseen vaikuttaa magneettinen voima, jos hiukkanen liikkuu eikä liike ole kentän suuntainen



$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

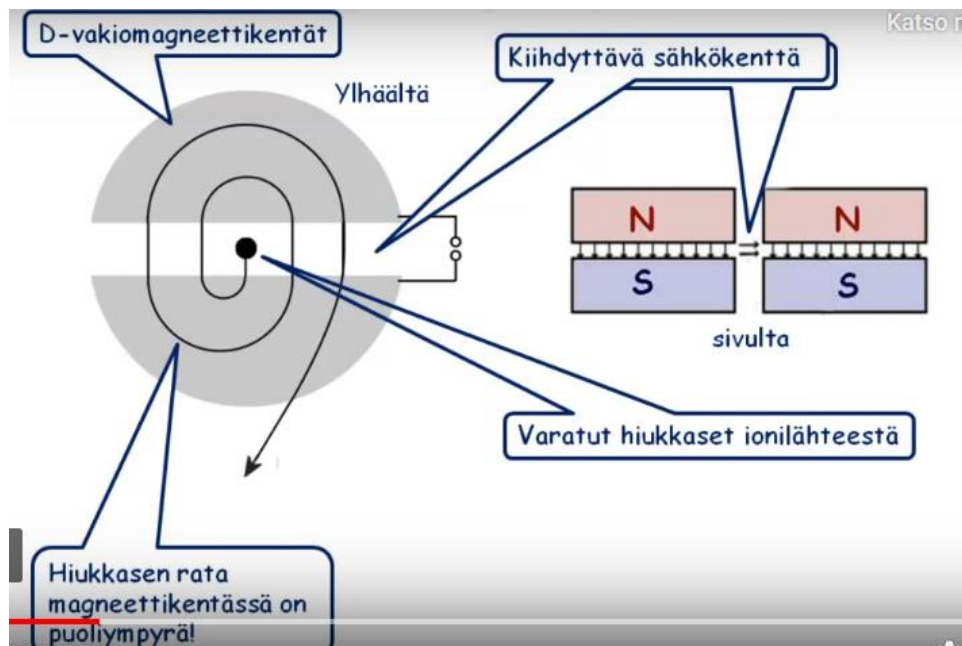
$$\vec{F}_m \perp \vec{v}$$

$$\vec{F}_m \perp \vec{B}$$

Positiivisesti varatun hiukkasen rata homogeenisessa magneettikentässä.

Syklotroni hiukkaskiihdytin

- Opetustv, FY6, 2 Varattu hiukkanen magneettikentässä, 3 Syklotroni ja ensimmäinen hiukkaskiihdytin



- sähkökentän avulla kiihdytetään varattuja hiukkasia
- jännitteen taajuus tahdistetaan ionien kierrostaajuuteen

ionien kulmanopeus $\omega = 2\pi n$ $n =$ kierrostaajuus

$$\omega = 2\pi f$$

vaihtojännitteen taajuus $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{qB}{2\pi m}$

- esim 5
- teht 7-9

Massaspektrometri

- Opetustv, FY6, 2 Varattu hiukkanen magneettikentässä, 2 Nopeusvalitsin ja massaspektrometri
- s70
- esim 6, Huom ionin varaus
- teht 7-8, 7-11