

1.5 Liikkuva varautunut hiukkanen magneettikentässä

- ▶ DEMO: Oskilloskoopin näyttö ja kestopagneetti.

1.5 Liikkuva varautunut hiukkanen magneettikentässä

- ▶ DEMO: Oskilloskoopin näyttö ja kestopagneetti.
- ▶ Sähkövirta on varausten liikettä, ja magneettikentässä virtajohtimeen kohdistuu voima \Rightarrow magneettikentässä liikkuvaan varaukseen kohdistuu voima.
- ▶ Liikkuvalla varauksella on magneettikenttä.
- ▶ Magneetit vuorovaikuttavat kenttiensä välityksellä.

- ▶ Tarkastellaan virtajohdinta (pituus l) jonka pinnan läpi kulkee ajassa t n kappaletta hiukkasia, joiden varaus on q . Tällöin virta on $I = nq/t$. Jos johdin on kohtisuorassa magneettikenttää vastaan, saadaan

$$F_m = IlB = \frac{nq}{t}lB = nq\frac{l}{t}B = nqvB$$

- ▶ Yhteen hiukkaseen kohdistuu siis voima

$$F_m = qvB$$

- ▶ Jos kulma **ei ole suora**, on käytettävä nopeuden magneettikenttää vastaan **kohtisuoraa komponenttia** (kts. kuva kirjan sivu 38):

$$F_m = qvB \sin \alpha$$

- ▶ Voiman suunta saadaan (taas) *oikean käden säännöllä*:
- ▶ Kun oikean käden etusormi osoittaa hiukkasen nopeuden suuntaan ja keskisormi magneettikentän kenttäviivojen suuntaan, niin **positiiviseen** hiukkaseen kohdistuva voima on peukalon suuntainen.
- ▶ Negatiiviseen hiukkaseen kohdistuva voima on vastakkaissuuntainen.
- ▶ Vrt. oikean kädenä sääntö suoralle virtajohtimelle magneettikentässä!

Esimerkki Elektroni saapuu tilaan, jossa sähkö- ja magneettikenttä ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan. Elektronin rata on kohtisuorassa molempia kenttiä vastaan. Sähkökentän voimakkuus on $E = 0,1 \text{ MV/m}$ ja magneettivuon tiheys $B = 500 \text{ mT}$. Millä nopeudella liikkuva elektroni etenee suoraviivaisesti kentän läpi? Millainen on sähkö- ja magneettikentän suunta?

Hiukkasen rata magneettikentässä

- ▶ Magneettikentässä voima on kokoajan kohtisuorassa liikesuuntaa vastaan \Rightarrow magneettinen voima pakottaa hiukkasen ympyräradalle (kts. kuva).
- ▶ Muistetaan keskeiskiihtyvyys $a_n = v^2/r$.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_n \Leftrightarrow qvB = m\frac{v^2}{r} \Leftrightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

- ▶ Hiukkasen radan säde riippuu sen ominaisvarauksesta q/m .
- ▶ Hiukkasen kulmanopeudeksi ω saadaan (muistetaan, että $\omega = v/r$):

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{v}{\frac{mv}{qB}} = \frac{qB}{m}$$

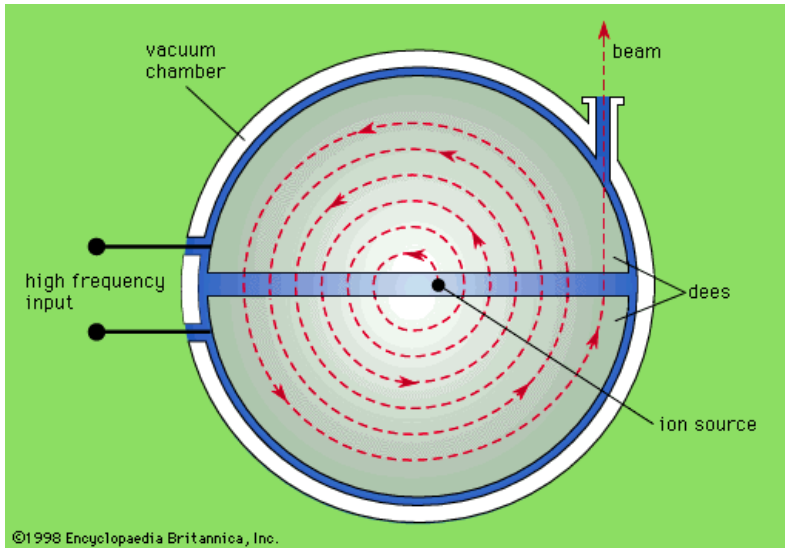
- ▶ Kulmanopeus ei riipu hiukkasen nopeudesta eikä radan säteestä!

- ▶ **Syklotroni** on **Hiukkaskiihdytin**, jota käytetään ydinfysiikan tutkimuksissa ja sovelluksissa. Niillä tutkitaan mm. aineen rakennetta ja perusvuorovaikutuksia sekä tuotetaan radioaktiivisia aineita esimerkiksi tutkimus- ja lääketieteelliseen käyttöön.
- ▶ Hiukkasta kiihdytetään sähkökentällä ja se pidetään magneettikentällä ympyräradalla.
- ▶ Hiukkasen kulmanopeus on vakio \Rightarrow kierrosaika ei riipu nopeudesta \Rightarrow kiihdytysjännitteellä vakiotaaajuus

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m}$$

- ▶ Nopeuden kasvaessa radan säde kasvaa.

► Periaatekuva:



- ▶ **Massaspektrometria** voidaan käyttää esimerkiksi selvittämään, mitä aineita tutkittava näyte sisältää.
- ▶ Tutkittava aine ionisoidaan. Tämän jälkeen ionit kiihdytetään ja ohjataan nopeusvalitsimen läpi. Suihku ohjataan magneettikenttään ja mitataan radan säde.
- ▶ Nopeus tiedetään \Rightarrow radan säteestä saadaan laskettua suhde q/m .
- ▶ Kts. kuva s. 42.

- ▶ Nopeusvalitsimessa sähkökenttä E ja magneettivuon tiheys B_1 . Kiihdytetään hiukkasia ensin jännitteellä U , jolloin:

$$qU = \frac{1}{2}mv^2 \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

- ▶ Nopeusvalitsimen läpi pääsee vain nopeudella

$$v = \frac{E}{B_1}$$

- ▶ Hiukkanen päätyy tämän jälkeen magneettikenttään jonka vuon tiheys on B_2 jolloin sen radan säde on

$$r = \frac{mv}{qB_2}$$

- ▶ Tässä nopeus v tunnetaan nopeusvalitsimen ansiosta!

Esimerkki

Elektroneita kiihdytetään ja ne ohjataan nopeusvalitsimeen, jossa $E = 140 \text{ kV/m}$ ja $B_1 = 7 \text{ mT}$. Tämän jälkeen ne joutuvat kohtisuoraan magneettikenttään (massaspektrometriin), jossa magneettivuon tiheys on $B_2 = 6 \text{ mT}$. Elektronin radan säteeksi mitattiin 2 cm . Mikä on elektronin massa?