

761103P Sähkö- ja magnetismioppi

**Magneettikenttä ja varattujen
hiukkasten liike siinä**

Magnetismin historiaa

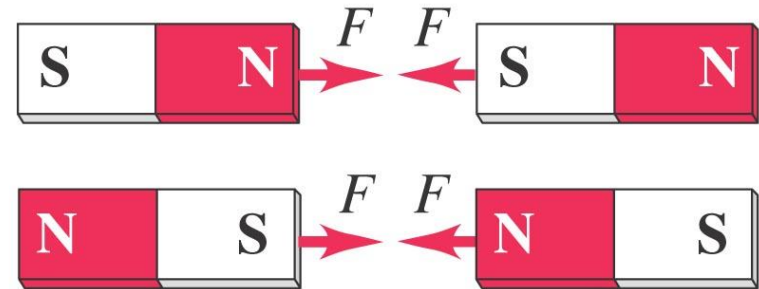
- Magnetismi löydettiin tuhansia vuosia sitten kummallisista kivistä, jotka vetävät toisiaan ja esim. rautaa puoleensa!
- Magnetiittia, joka magnetoituu esim. salamaniskusta.
- Keskiajalla kiinalaiset keksivät kompassin



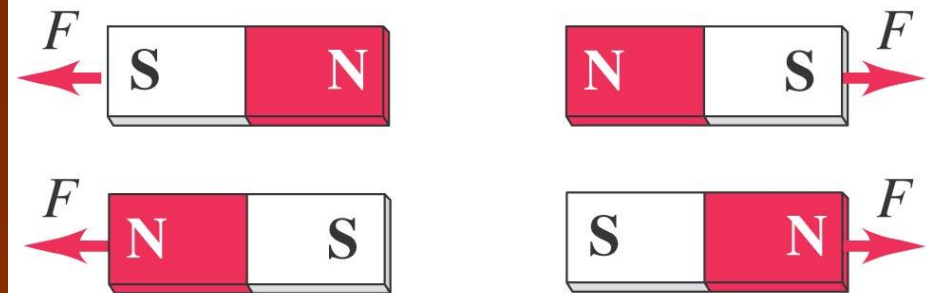
Magnetismi

- Kompassin neula on kestmagneetti.
- Kestomagneettien avulla helppo todeta, että on olemassa kaksi magneettista napaa
- Napojen välinen vuorovaikutus välittyy *magneettikentän* avulla

(a) Opposite poles attract.

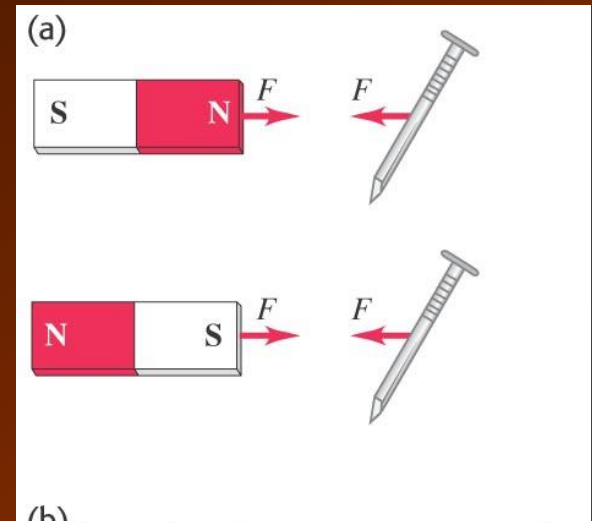


(b) Like poles repel.



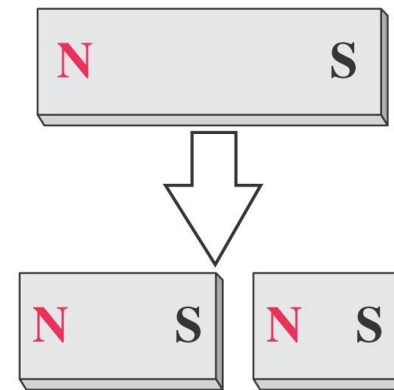
Magnetismi

- Tietynlaiset materiaalit, esim. **rauta**, reagoivat magneettikenttään, vaikka eivät itse olisikaan *magnetoituneita* (kuten esim. kompassin neula)
- **Magneettisia napoja ei esiinny yksinään!**
→ aina pareittain



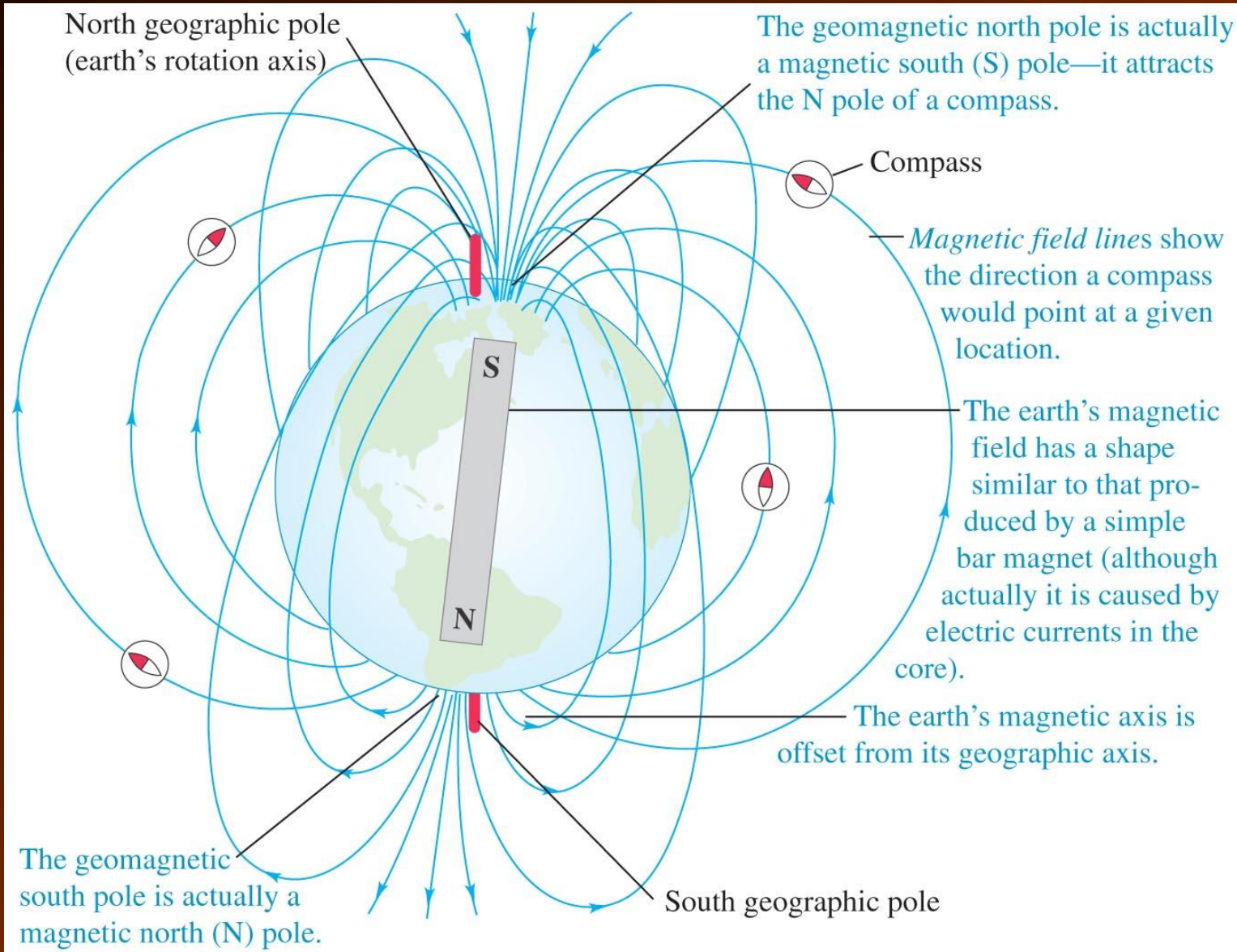
In contrast to electric charges, magnetic poles always come in pairs and can't be isolated.

Breaking a magnet in two ...



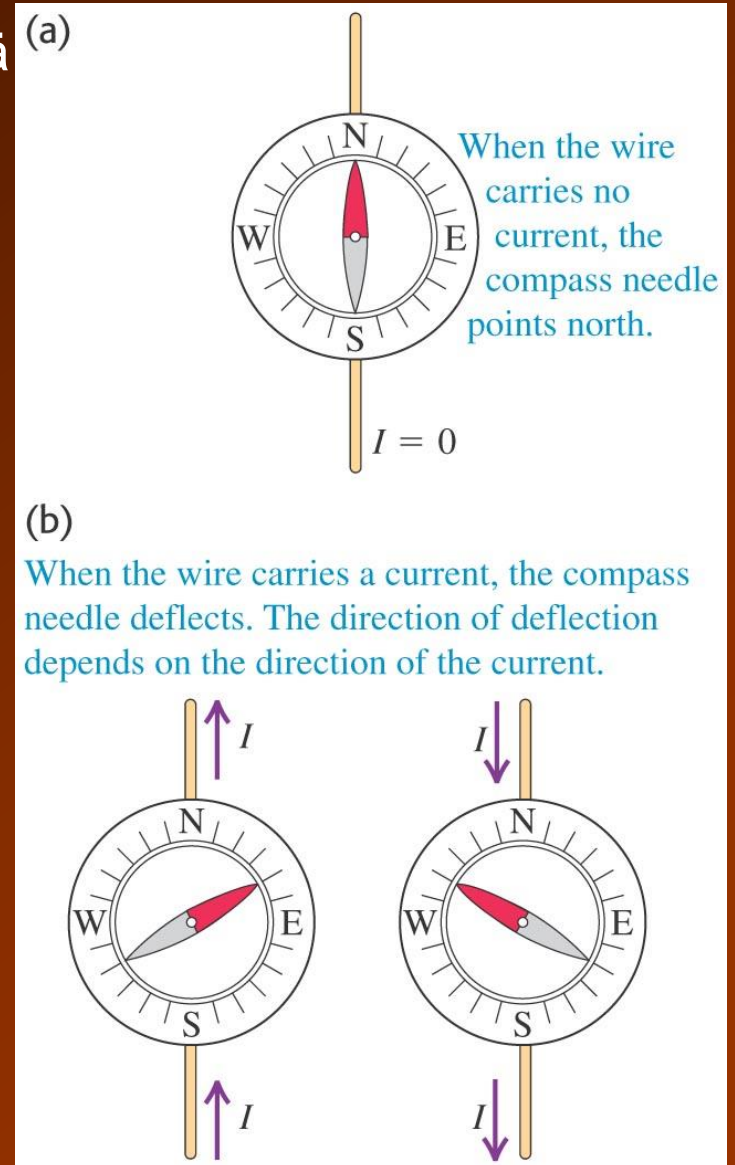
... yields two magnets, not two isolated poles.

Napojen nimet Maan magnetismista



Mikä magneettikentän synnyttää?

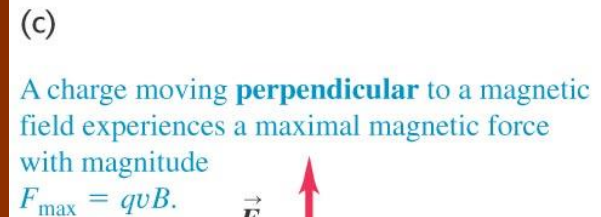
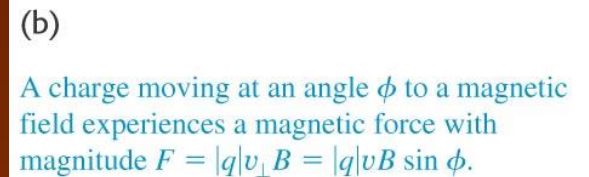
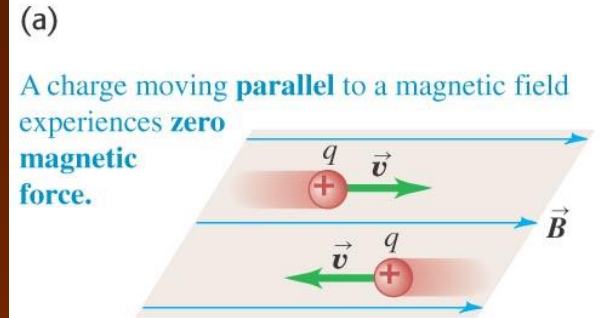
- Hans Cristian Oersted huomasi 1820, että sähkövirta vaikuttaa kompassiin!
- → Sähkövirta muuttaa magneettikenttää
- Tai paremminkin *sähkövirta (liikkuvat varaukset) synnyttävät magneettikentän!*
- *Ts.*
 1. Liikkuvat varaukset synnyttävät magneettikentän (sähkökentän lisäksi)
 2. Magneettikenttä aiheuttaa voiman liikkuviin varauksiin (esim. kompassin neulan atomeissa pyöriviin elektroneihin).



Magneettikentän vaikutus varauksiin

- Magneettikenttä on vektorikenttä, merkitään sitä symbolilla \vec{B}
- *Kokeellisesti* magneettikentän aiheuttama voima on
 - Suoraan verrannollinen varaukseen $\rightarrow F \propto |q|$
 - Suoraan verrannollinen magneettikentän voimakkuuteen $\rightarrow F \propto |q|B$
 - Riippuu hiukkasen nopeudesta!, suoraan verrannollinen magneettikenttää vastaan kohtisuorassa olevaan nopeuskomponenttiin!! \rightarrow

$$F \propto |q|Bv_{\perp} = |q|Bv\sin\phi$$



Magneettikentän vaikutus varauksiin

- Matemaattisesti, magneettikentän aiheuttama voima voidaan kirjoittaa

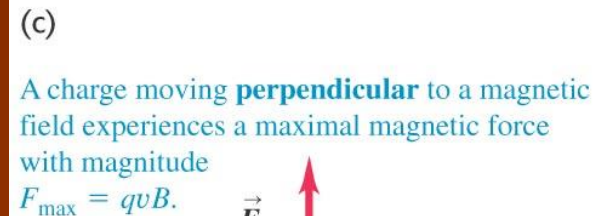
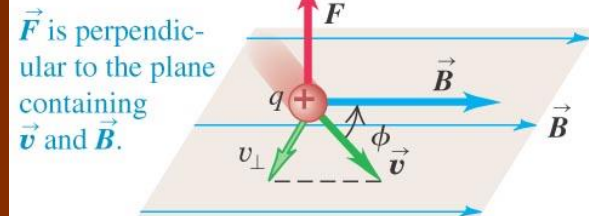
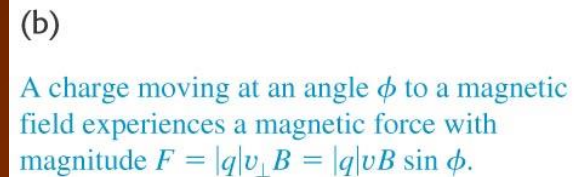
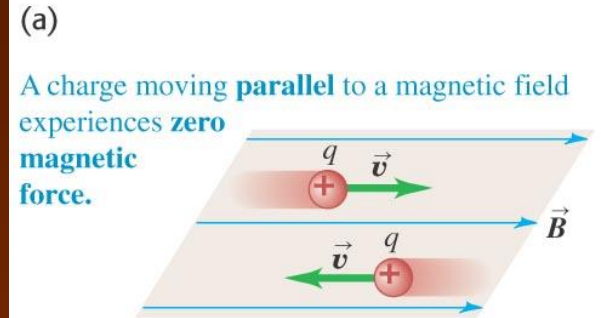
$$F \propto |q|Bv_{\perp} = |q|Bv\sin\phi \quad (\text{voiman suuruus})$$

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (\text{voima vektorina})$$

- \rightarrow Tästä ratkaistuna magneettikentän yksikkö on 1 T (tesla) = 1 N s / C m

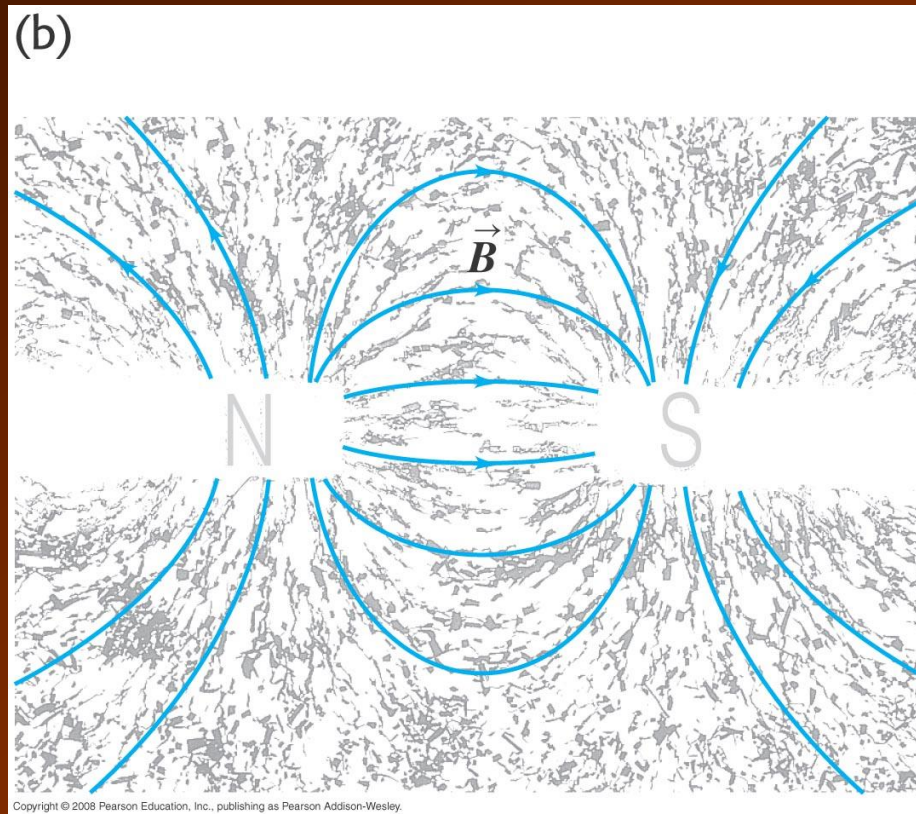
- Jos varaukseen vaikuttaa lisäksi sähkökenttä, on kokonaisvoima:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$



Magneettiset kenttäviivat

- Samoin kuin sähkökentällä, myös magneettikentällä on kenttäviivat
- Kenttäviivat ovat jokaisessa kohdassa magneettikentän suuntaisia →
Kompassin neula (tai rautahiput) asettuu kenttäviivan suuntaisesti

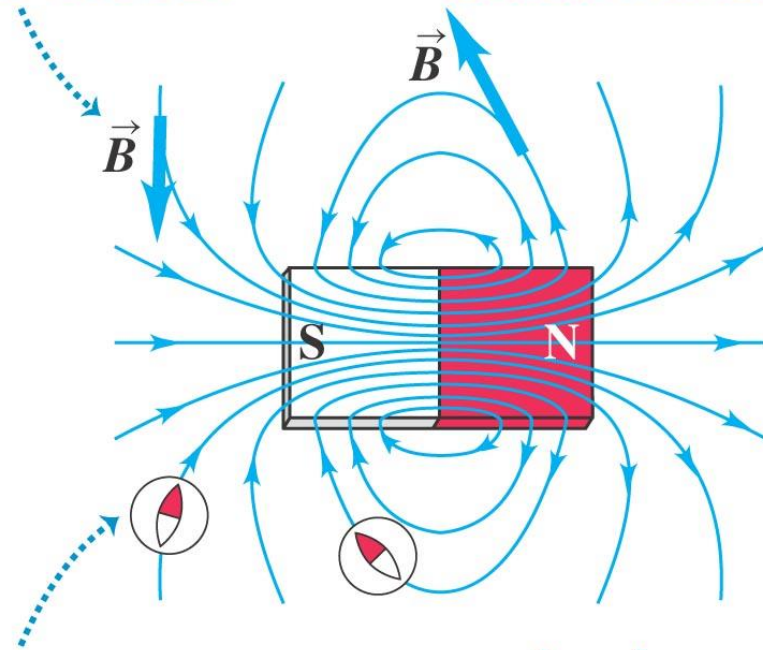


Magneettiset kenttäviivat

- Magneettiset kenttäviivat ovat AINA suljettuja silmukoita!! (alku ja päätepiste sama)
- → Magneetikentällä ei ole lähdettä (vrt. sähkövaraus sähkökentän lähteenä) Eli EI ole olemassa magneettista varausta

At each point, the field line is tangent to the magnetic field vector \vec{B} .

The more densely the field lines are packed, the stronger the field is at that point.



At each point, the field lines point in the same direction a compass would . . .

. . . therefore, magnetic field lines point *away* from N poles and *toward* S poles.

Magneettivuo

- Tulemme myöhemmin tarvitsemaan tärkeää käsitettä: Magneettivuo
- Määritelmä: vuo = magneettikenttä x pinta-ala

$$\Phi_B = BA$$

yksikkö 1 Wb (weber) = 1 T m²

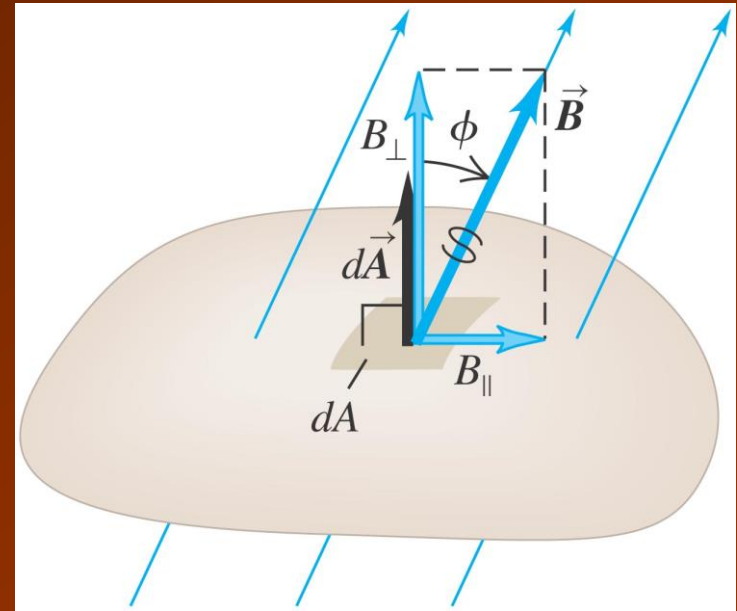
- Jos kenttä ei ole vakio jaetaan pinta pieniin osiin ja summataan vuot yhteen →

$$d\Phi_B = B\cos\phi dA = \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

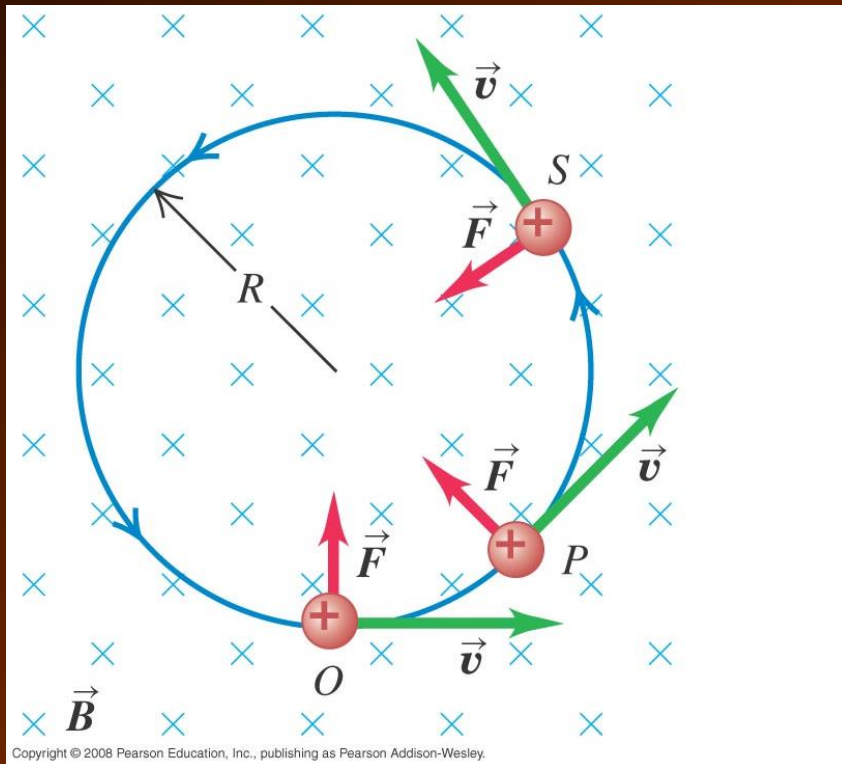
- Ei magneettista varausta →

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \text{Suljetulle pinnalle!}$$

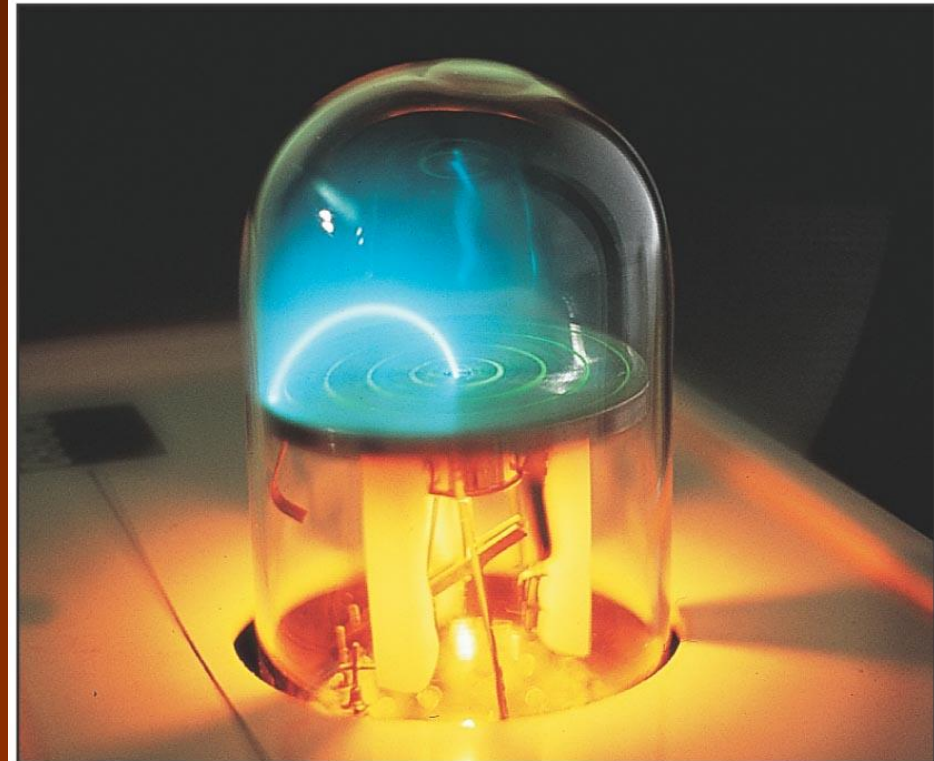


Varatun hiukkasen liike magneettikentässä

- Magneettikentän aiheuttama voima kokoajan kohtisuorassa liikettä vastaan → Ympyrärata magneettikentän ympäri!



(b) An electron beam (seen as a blue arc) curving in a magnetic field



ESIMERKKEJÄ

Varatun hiukkasen liike magneettikentässä

- Magneettikentän aiheuttama voima kokoajan kohtisuorassa liikettä vastaan → Ympyrärata magneettikentän ympäri!
- Keskeisvoima = magneettinen voima

$$|q|vB = m \frac{v^2}{R}$$

• →

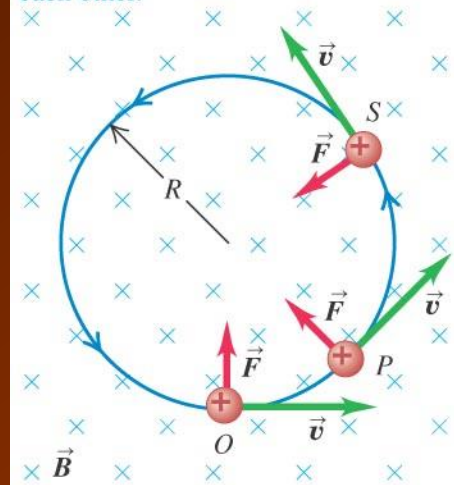
$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

- Ympyräliikkeen kulmanopeus

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{|q|B}{m}$$

(a) The orbit of a charged particle in a uniform magnetic field

A charge moving at right angles to a uniform \vec{B} field moves in a circle at constant speed because \vec{F} and \vec{v} are always perpendicular to each other.



(b) An electron beam (seen as a blue arc) curving in a magnetic field

