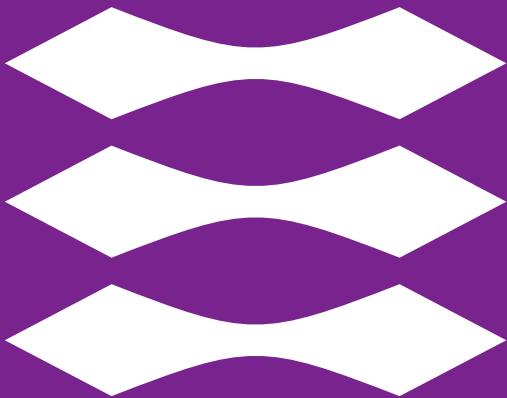


DTU



Uge 9 | Elektromagnetisme

Magnetiske Kræfter og Felter

Hvad lærte jeg sidst?

 6. Hvad er lige nu mest uklart? 48

48 responses

Elektrisk potential

29.17%

Relationen mellem elektrisk potential og felt

75%

Elektrisk strøm og drifthastighed

18.75%

Ohms lov og afsat energi i elektriske kredsløb

6.25%

Hvad lærte jeg sidst?



Kraft, potentiel energi, elektrisk felt, potential

$$[F] = \text{N} = \frac{\text{J}}{\text{m}}$$

$$\vec{F}_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r}$$

$$[U] = \text{J}$$

$$[E] = \frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

$$[V] = \text{V} = \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

$$\frac{1}{q}$$

$$\frac{1}{q}$$

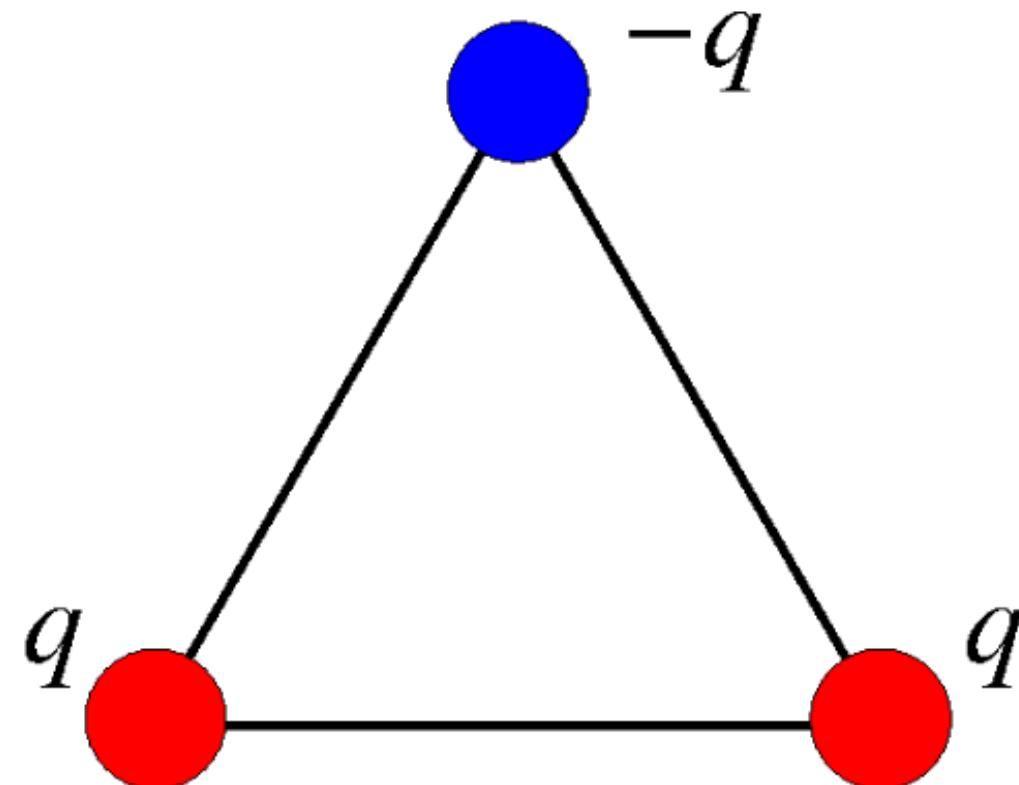
$$-\nabla$$

$$-\nabla$$

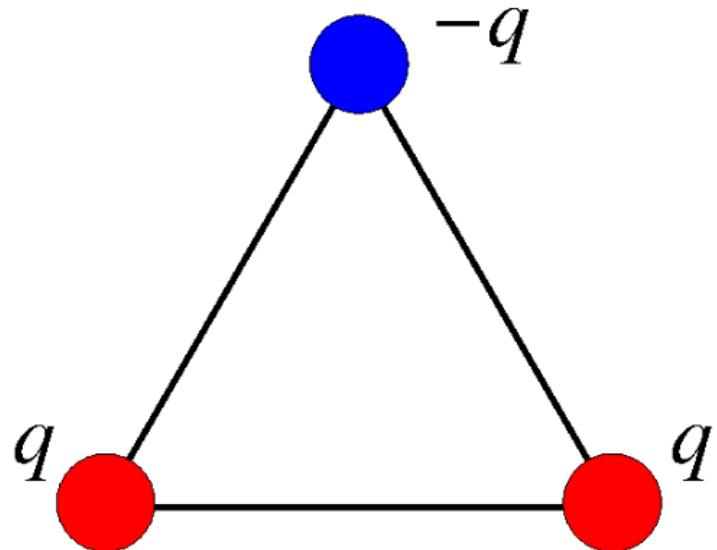
Regneopgave fra Sidst

Exercise 5.

Two positive point charges and one negative point charge are placed at the three corners of an equilateral triangle as shown in the figure. All charges have the same magnitude. The zero point of the electrostatic potential energy is set at infinity. Which of the following statements are correct?



Regneopgave fra Sidst



- A) The total potential energy of the three charges is positive
- B) The total electrostatic force on the negative charge is directed vertically downward
- C) The total electrostatic force on the left positive charge is directed straight to the left
- D) The electric field at the midpoint between the two positive charges is directed straight up
- E) There are one or more zero points for the electrostatic potential within the sides of the triangle

Regneopgave fra Sidst

Solution:

B), D) and E) are correct. A) The total potential energy has a positive contribution from the two positive charges and two equally large, but negative, contributions from the potential energy between the negative charge and each of the two positive ones. So the total potential energy is negative. B) The negative charge is acted upon by two equal forces directed towards the center of the positive charges. Their x-components cancel, while the downward y-components have the same sign and add up. C) The force from the right positive charge is directed straight to the left, but there is also an attractive force towards the negative charge. D) The fields from the two positive charges are equal and oppositely directed at the center point. The total field is therefore the field from the negative charge, which points straight up. E) Close to the negative charge, the potential is large and negative (goes towards minus infinity when we approach the charge), similarly it is large and positive when we approach a positive charge, so zero points must be found inside the triangle.



##/##

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Question slide



Vektor A peger mod højre, vektor B peger opad. I hvilken
retning peger vektor $C = A \times B$

mod højre

0%

opad

0%

mod venste

0%

nedad

0%

ind i tavlen

0%

ud ad tavlen

0%



##/##

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Results slide



Vektor A peger mod højre, vektor B peger opad. I hvilken
retning peger vektor $C = A \times B$

mod højre

0%

opad

0%

mod venste

0%

nedad

0%

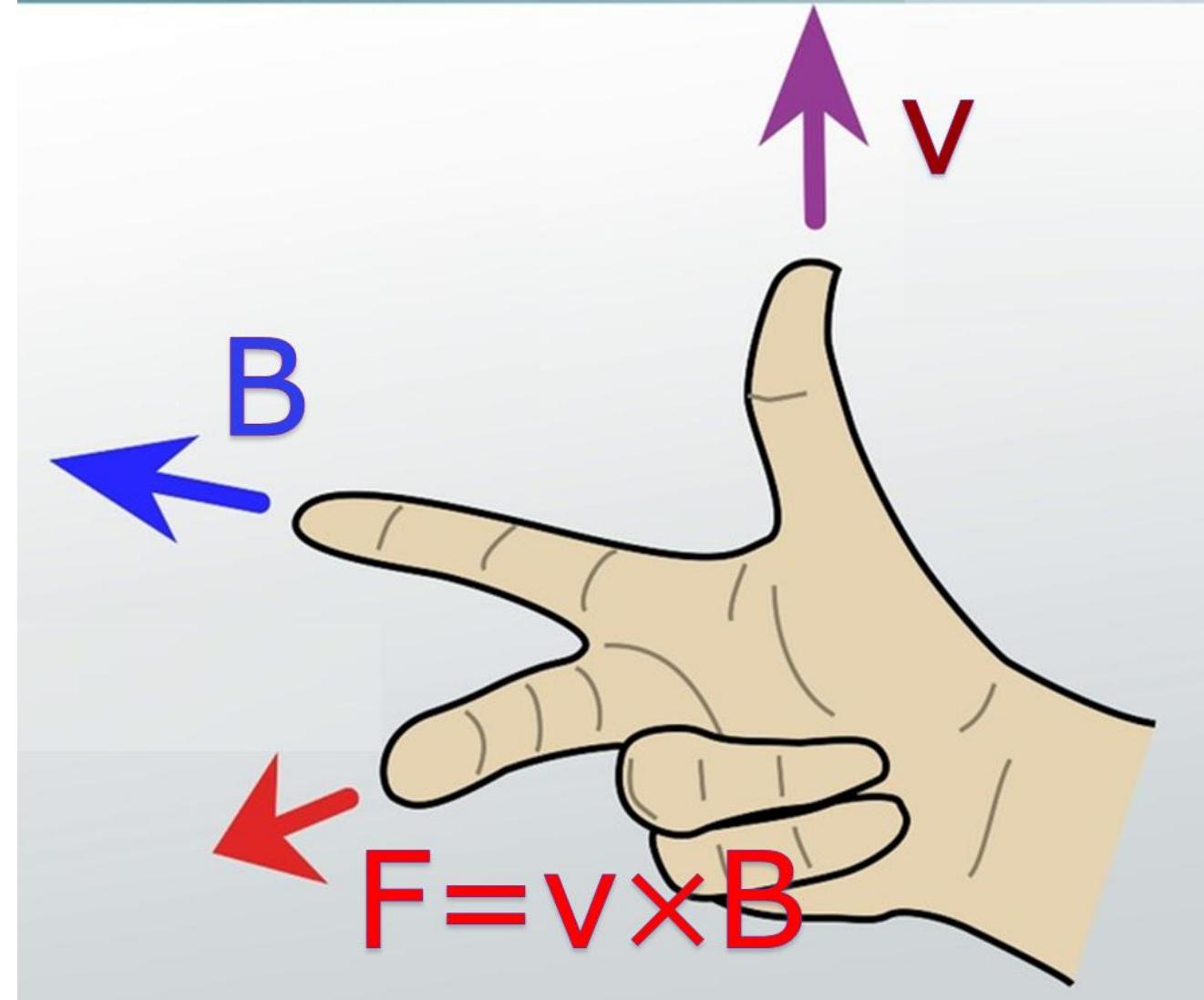
ind i tavlen

0%

ud ad tavlen

0%

Krydsprodukt

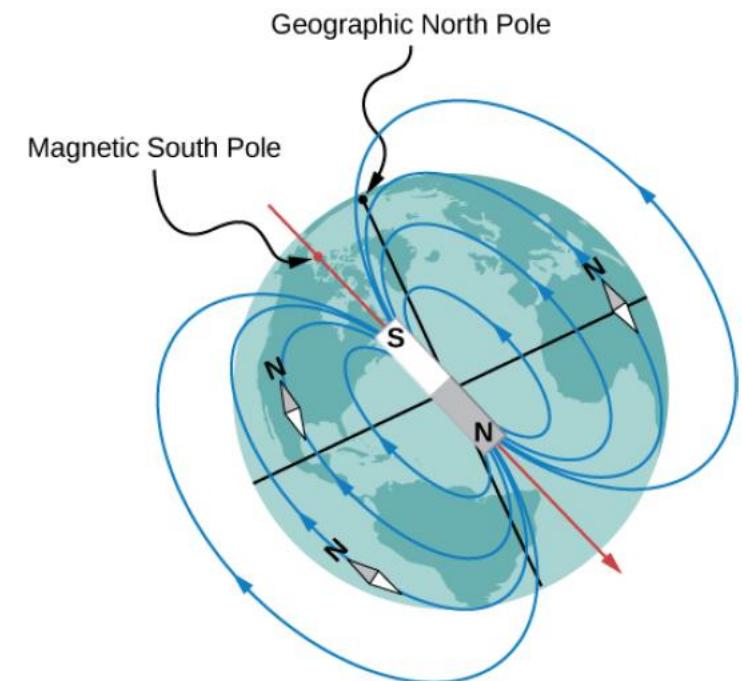


Hvad skal jeg lære i dag?

- Tegne og fortolke magnetiske felter fra magneter
- Uregne den magnetiske kraft på en ladet partikel og beskrive partikelbanen i et uniformt magnetfelt
- Uregne størrelse og angive retning af den magnetiske kraft på en strømførende ledning
- Uregne størrelse og retning af magnetisk kraft og kraftmoment på en magnetisk dipol

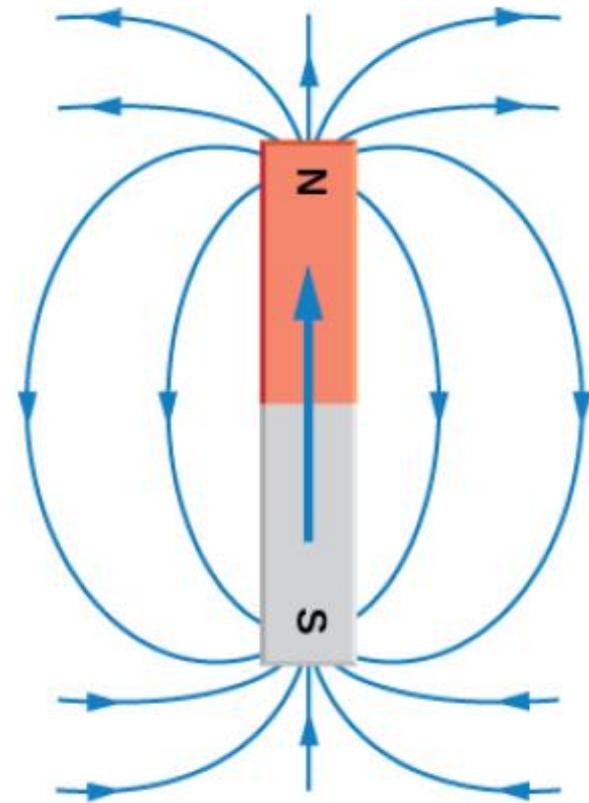
Magnetismens opdagelse

- Magnetisme har været kendt siden oldtidens Grækenland
- Eksempel på naturligt forekommende magnet er Jorden, hvor andre frie magneters (f.eks. kompasnåles) nordpol, vil orientere sig mod Jordens magnetiske sydpol (tæt ved den geografiske nordpol)
- Bedre forståelse fra interesse efter H.C. Ørstedts (DTU's grundlægger) forsøg i 1819, hvor han viste, at strømførende ledning gav anledning til magnetisme
- Enheden for magnetisk feltstyrke er Tesla $[B] = T$



Det magnetiske felt

1. Retningen af det magnetiske felt er tangentiel til feltlinjen på ethvert punkt i rummet (et lille kompas vil pege i feltlinjens retning).
2. Styrken af magnetfeltet er proportional med, hvor tæt feltlinjerne ligger.
3. Magnetiske feltlinjer kan aldrig krydse hinanden.
4. Magnetiske feltlinjer er kontinuerlige og danner lukkede løkker uden begyndelse eller ende (de går fra nordpolen mod sydpolen).





#/#/#

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Question slide



Hvad er fælles for elektriske og magnetiske feltlinjer?

Retningen af det feltet er tangentiel til feltlinjen på ethvert punkt i rummet



Styrken af feltet er proportional med, hvor tæt feltlinjerne ligger



Feltlinjer kan aldrig krydse hinanden



Feltlinjer er kontinuerlige og danner lukkede løkker uden begyndelse eller ende





#/#/#

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Results slide



Hvad er fælles for elektriske og magnetiske feltlinjer?

Retningen af det feltet er tangentiel til feltlinjen på ethvert punkt i rummet



0%

Styrken af feltet er proportional med, hvor tæt feltlinjerne ligger



0%

Feltlinjer kan aldrig krydse hinanden



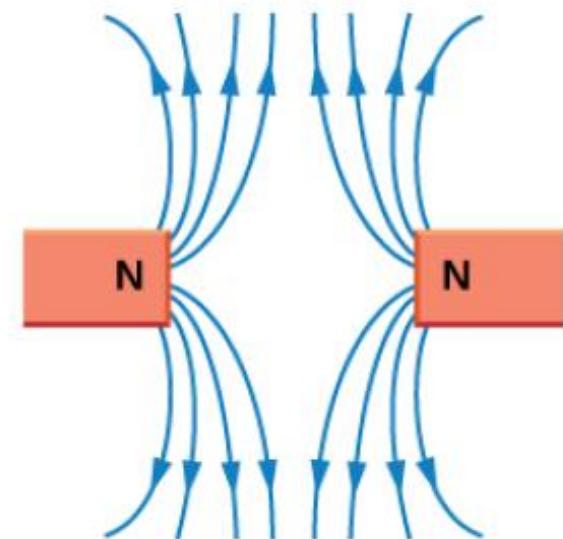
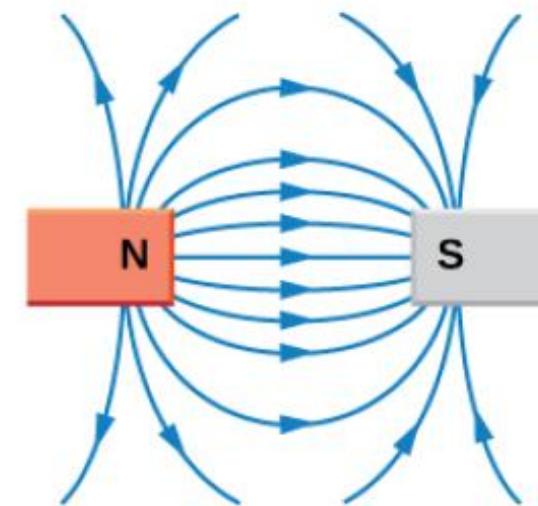
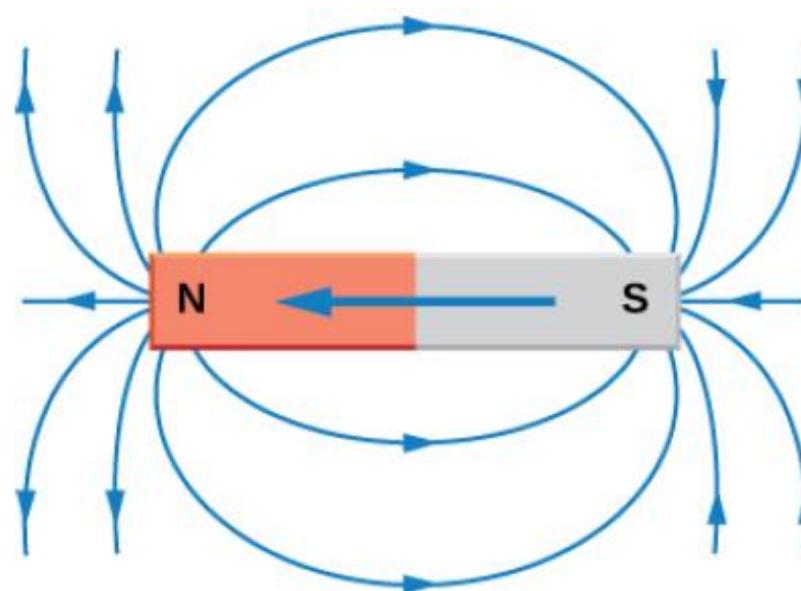
0%

Feltlinjer er kontinuerlige og danner lukkede løkker uden begyndelse eller ende



0%

Det magnetiske felt



Det magnetiske kraft på en ladet partikel

Den magnetiske kraft, \vec{F} , på en ladet partikel med hastigved \vec{v} og ladning q er

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

hvor \vec{B} er magnetfeltet i punktet for partiklens position.

Størrelsen af den magnetiske kraft er

$$F = qvB \sin \theta$$

hvor θ er vinklen mellem hastighedsvektoren og magnetfeltsvektoren

Det magnetiske kraft på en ladet partikel

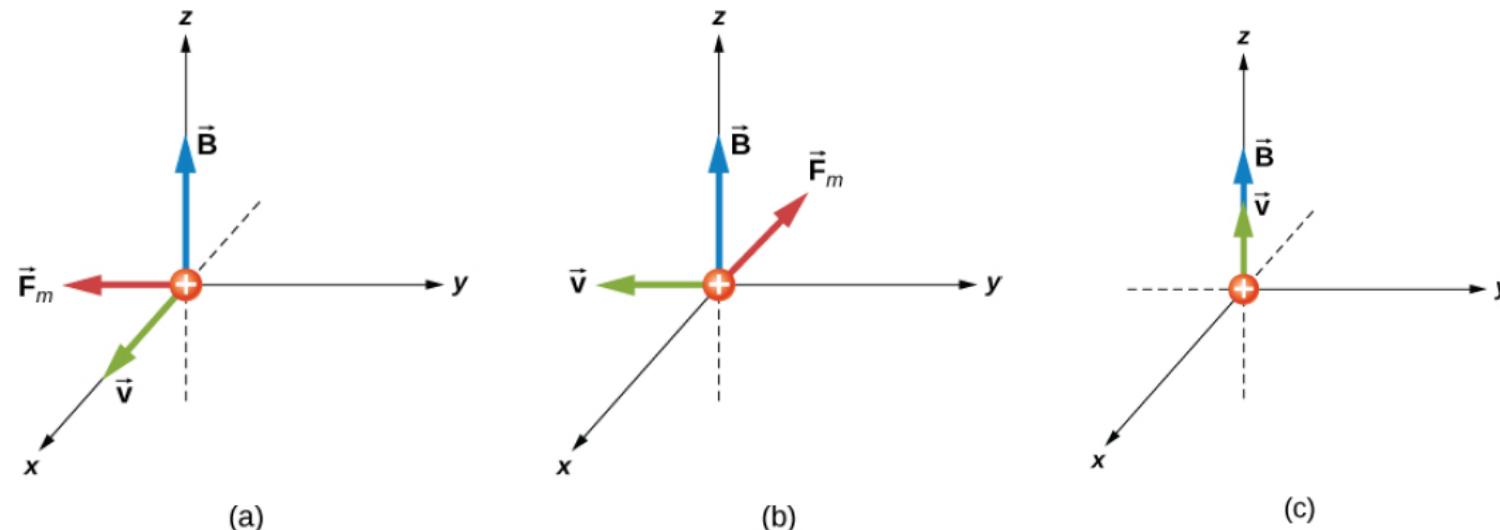
An Alpha-Particle Moving in a Magnetic Field

An alpha-particle ($q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$) moves through a uniform magnetic field whose magnitude is 1.5 T. The field is directly parallel to the positive z-axis of the rectangular coordinate system of [Figure 11.5](#). What is the magnetic force on the alpha-particle when it is moving (a) in the positive x-direction with a speed of $5.0 \times 10^4 \text{ m/s}$? (b) in the negative y-direction with a speed of $5.0 \times 10^4 \text{ m/s}$? (c) in the positive z-direction with a speed of $5.0 \times 10^4 \text{ m/s}$?

Det magnetiske kraft på en ladet partikel

An Alpha-Particle Moving in a Magnetic Field

An alpha-particle ($q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$) moves through a uniform magnetic field whose magnitude is 1.5 T. The field is directly parallel to the positive z-axis of the rectangular coordinate system of [Figure 11.5](#). What is the magnetic force on the alpha-particle when it is moving (a) in the positive x-direction with a speed of $5.0 \times 10^4 \text{ m/s}$? (b) in the negative y-direction with a speed of $5.0 \times 10^4 \text{ m/s}$? (c) in the positive z-direction with a speed of $5.0 \times 10^4 \text{ m/s}$?



$$F = qvB\sin\theta = (3.2 \times 10^{-19} \text{ C})(5.0 \times 10^4 \text{ m/s})(1.5 \text{ T})\sin(90^\circ) = 2.4 \times 10^{-14} \text{ N.}$$



#/#/#

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Question slide



Hvad gælder om en ladet partikel i et uniformt magnetfelt?

Den magnetiske kraft er altid vinkelret på hastigheden

Den magnetiske kraft er altid tangentiel på hastigheden

Den magnetiske kraft udfører ikke et arbejde

Partiklens bane er en jævn cirkelbevægelse

Den magnetiske kraft kan ikke påvirke hastigheden parallelt med magnetfeltet

En ladet partikel kan ikke ligge stille i et magnetfelt

0%

0%

0%

0%

0%

0%



##/##

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Results slide



Hvad gælder om en ladet partikel i et uniformt magnetfelt?

Den magnetiske kraft er altid vinkelret på hastigheden

Den magnetiske kraft er altid tangentiel på hastigheden

Den magnetiske kraft udfører ikke et arbejde

Partiklens bane er en jævn cirkelbevægelse

Den magnetiske kraft kan ikke påvirke hastigheden parallelt med magnetfeltet

En ladet partikel kan ikke ligge stille i et magnetfelt

0%

0%

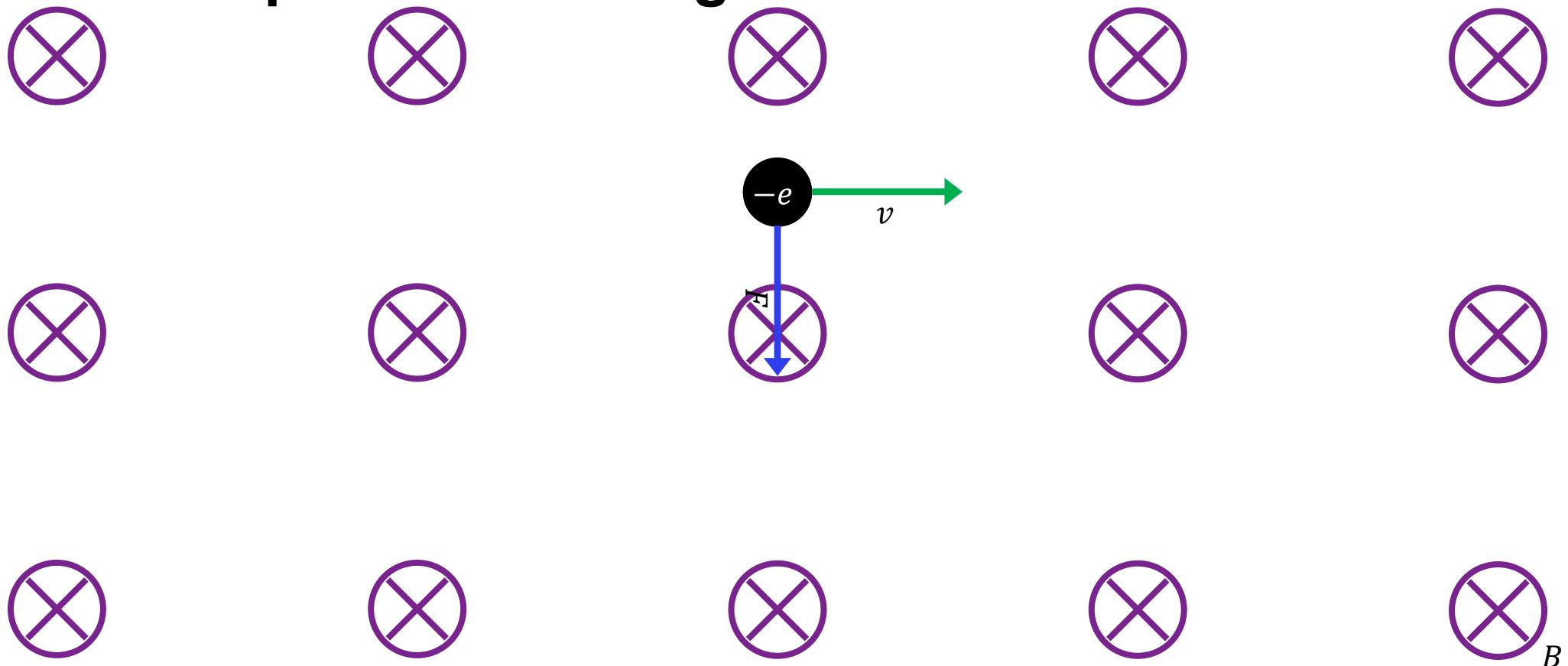
0%

0%

0%

0%

Ladet partikel i et magnetfelt



Ladet partikel i et magnetfelt

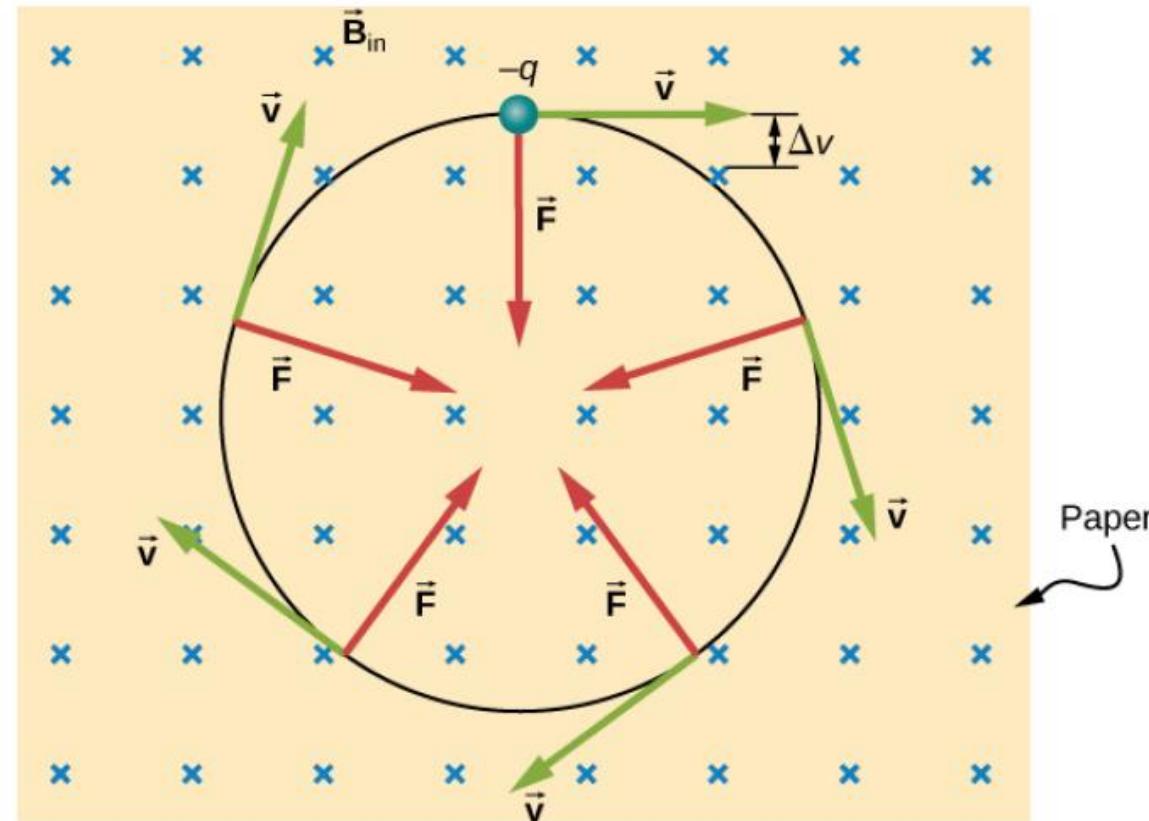


Figure 11.7 A negatively charged particle moves in the plane of the paper in a region where the magnetic field is perpendicular to the paper (represented by the small 'x' s—like the tails of arrows). The magnetic force is perpendicular to the velocity, so velocity changes in direction but not magnitude. The result is uniform circular motion. (Note that because the charge is negative, the force is opposite in direction to the prediction of the right-hand rule.)

Ladet partikel i et magnetfelt

Størrelsen af centripetalkraften for en jævn cirkelbevægelse er

$$F = \frac{mv_{\perp}^2}{r}$$

Kombineres dette med størrelsen af den magnetiske kraft ($v_{\perp} = v \sin \theta$)

$$F = qv_{\perp}B$$

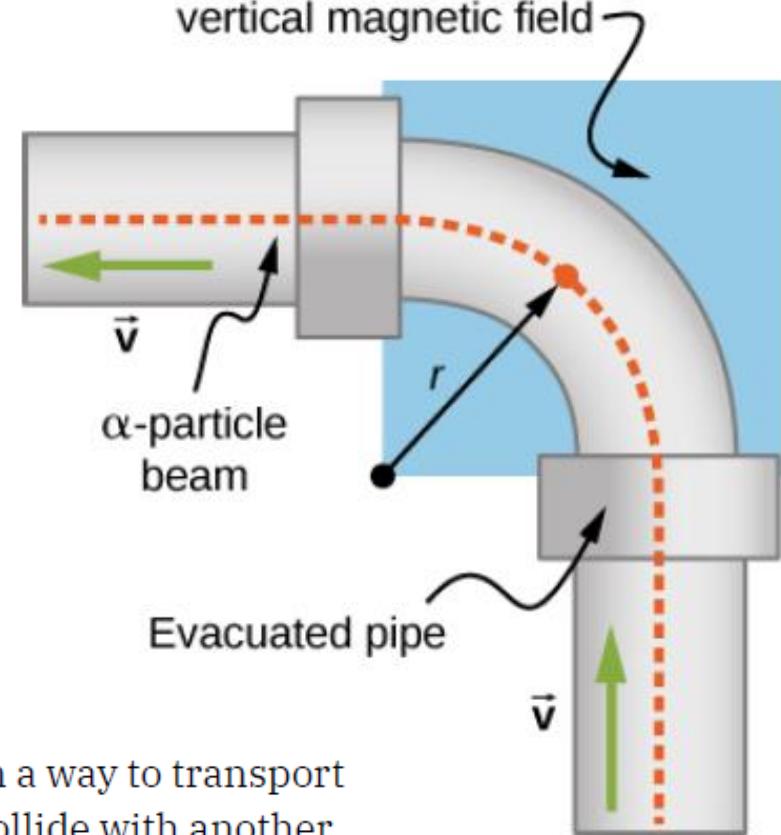
Fås radius, r , og omløbstid, T , i cirkelbevægelsen

$$r = \frac{mv_{\perp}}{qB}$$

$$T = 2\pi \frac{m}{qB}$$

Ladet partikel i et magnetfelt

Region with uniform vertical magnetic field



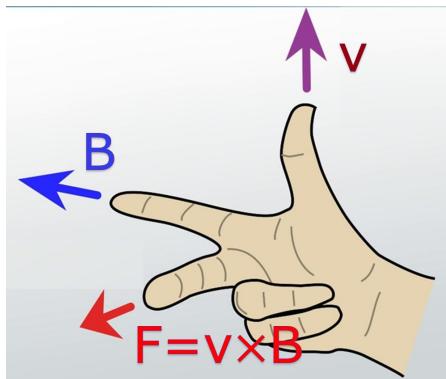
Beam Deflector

A research group is investigating short-lived radioactive isotopes. They need to design a way to transport alpha-particles (helium nuclei) from where they are made to a place where they will collide with another material to form an isotope. The beam of alpha-particles ($m = 6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$) bends through a 90-degree region with a uniform magnetic field of 0.050 T ([Figure 11.10](#)). (a) In what direction should the magnetic field be applied? (b) How much time does it take the alpha-particles to traverse the uniform magnetic field region?

Ladet partikel i et magnetfelt

Solution

a.



- b. The period of the charged particle going around a circle is calculated by using the given mass, charge, and magnetic field in the problem. This works out to be

$$T = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi (6.64 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(3.2 \times 10^{-19} \text{ C})(0.050 \text{ T})} = 2.6 \times 10^{-6} \text{ s.}$$

However, for the given problem, the alpha-particle goes around a quarter of the circle, so the time it takes would be

$$t = 0.25 \times 2.61 \times 10^{-6} \text{ s} = 6.5 \times 10^{-7} \text{ s.}$$

Hvad skal jeg lære i dag?

- Tegne og fortolke magnetiske felter fra magneter
- Uregne den magnetiske kraft på en ladet partikel og beskrive partikelbanen i et uniformt magnetfelt
- Uregne størrelse og angive retning af den magnetiske kraft på en strømførende ledning
- Uregne størrelse og retning af magnetisk kraft og kraftmoment på en magnetisk dipol

Magnetisk kraft på en ledning

I en strømførende ledning bevæger elektronerne sig i gennemsnit med farten

$$v_d = \frac{I}{neA}$$

Er ledningen placeret i et magnetfelt, er kraften på en enkelt elektron

$$\vec{F} = q\vec{v}_d \times \vec{B}$$

Mens den totale kraft på samtlige $N = nAL$ elektroner i ledningen med længde L er

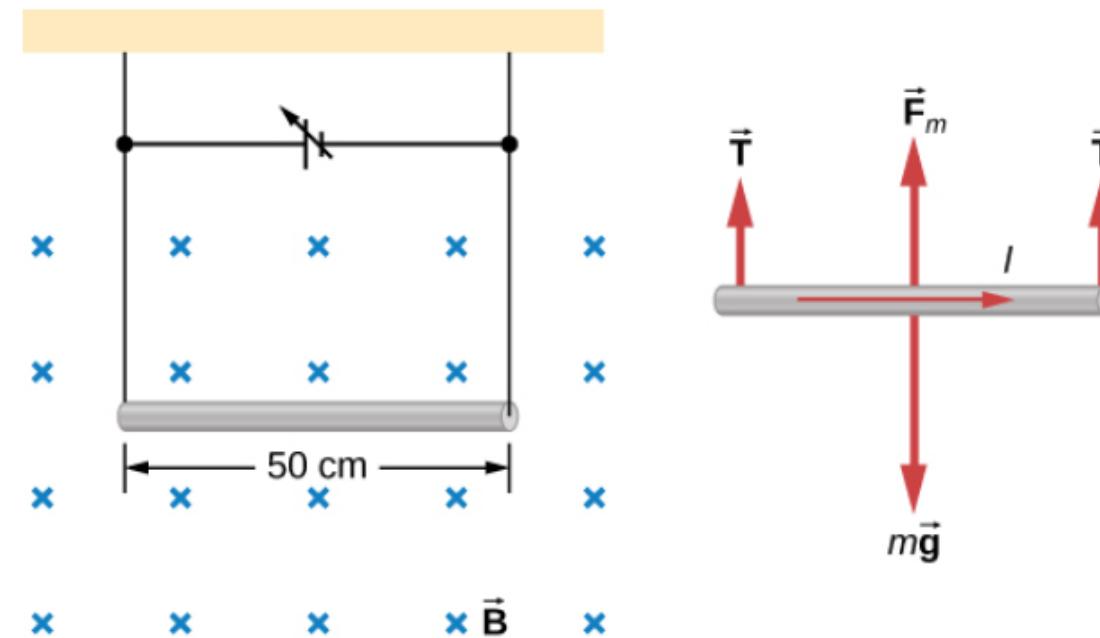
$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

hvor \vec{L} peger i strømmens retning

Magnetisk kraft på en ledning

Balancing the Gravitational and Magnetic Forces on a Current-Carrying Wire

A wire of length 50 cm and mass 10 g is suspended in a horizontal plane by a pair of flexible leads (Figure 11.13). The wire is then subjected to a constant magnetic field of magnitude 0.50 T, which is directed as shown. What are the magnitude and direction of the current in the wire needed to remove the tension in the supporting leads?



Magnetisk kraft på en ledning

Solution

Equate the two forces of weight and magnetic force on the wire:

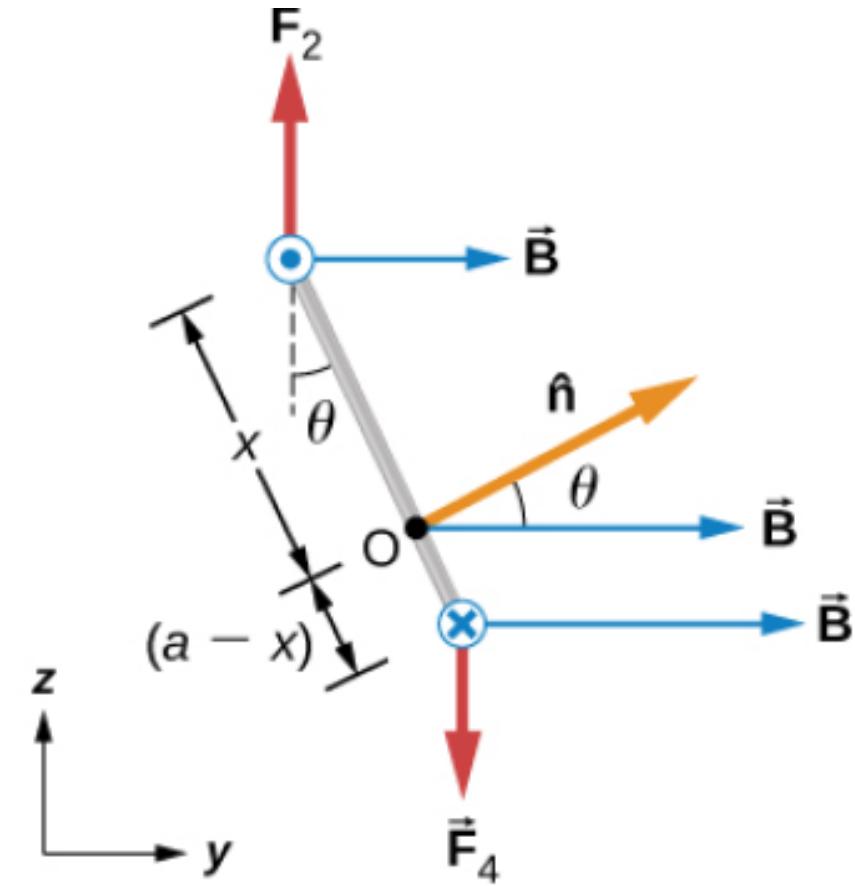
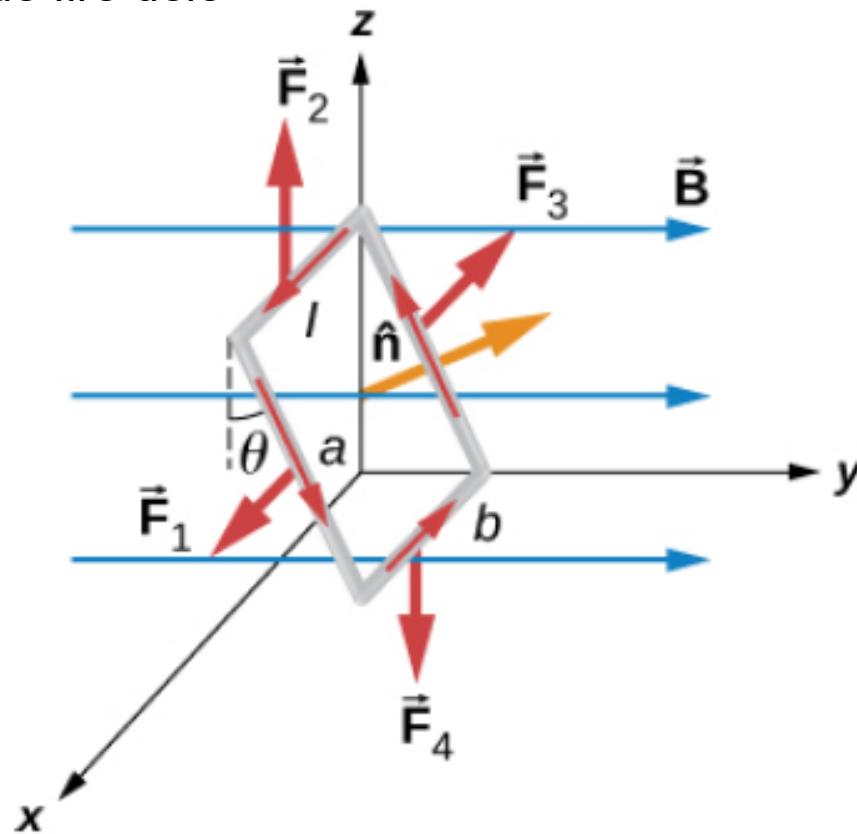
$$mg = IlB.$$

Thus,

$$I = \frac{mg}{lB} = \frac{(0.010 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}{(0.50 \text{ m})(0.50 \text{ T})} = 0.39 \text{ A.}$$

Magnetisk kraft på en magnetisk dipol

En strømkreds, bestående af fire ledningssegmenter, mærker summen af kræfterne på hver af de fire dele



Magnetisk kraft på en magnetisk dipol

Kræfterne har følgende størrelse (brug $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$)

$$\vec{F}_1 = IaB \sin(90^\circ - \theta) \hat{x} = IaB \cos(\theta) \hat{x}$$

$$\vec{F}_2 = IbB\hat{z}$$

$$\vec{F}_3 = -IaB \sin(90^\circ + \theta) \hat{x} = -IaB \cos(\theta) \hat{x}$$

$$\vec{F}_4 = -IbB\hat{z}$$

Og summen af kræfterne er altså

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = 0$$



#/#/#

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Question slide



Hvilke(n) kræfter giver anledning til et kraftmoment omkring rotationsaksen O?

 F_1 F_2 F_3 F_4 Ingen

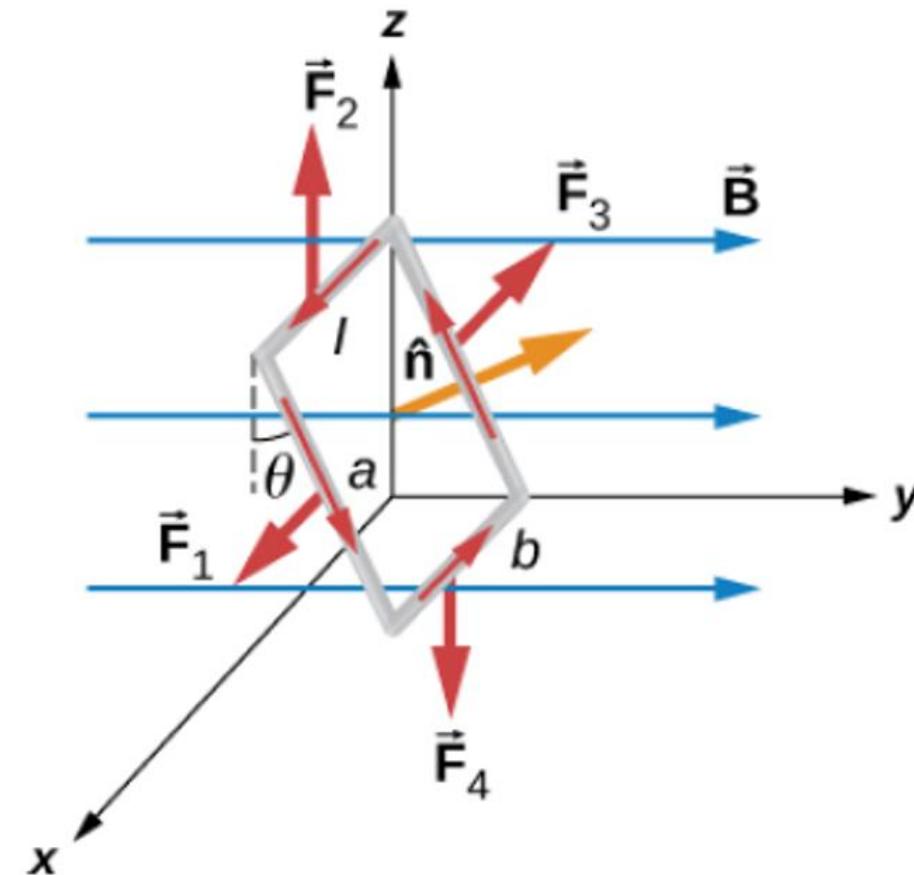
0%

0%

0%

0%

0%





#/#/#

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Results slide



Hvilke(n) kræfter giver
anledning til et kraftmoment
omkring rotationsaksen O?

F_1

F_2

F_3

F_4

Ingen

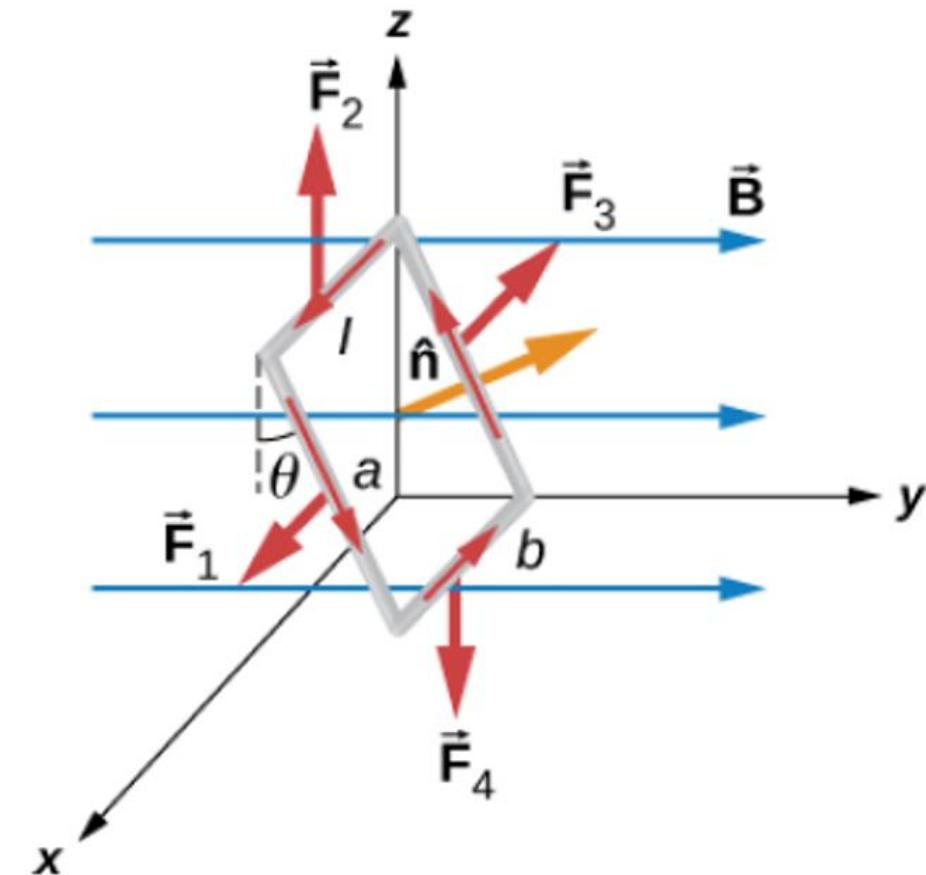
0%

0%

0%

0%

0%



Magnetisk kraftmoment på en magnetisk dipol

Kræfterne giver dog anledning til et endeligt kraftmoment

$$\vec{\tau} = \sum_i \vec{\tau}_i = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 + \vec{\tau}_4$$

Kraftmomenterne fra F_1 og F_3 vil være lige store og modsatrettede

$$\vec{\tau}_2 = F_2 x \sin \theta \hat{x}$$

$$\vec{\tau}_4 = -F_4(a - x) \sin \theta \hat{x}$$

Indsættes udtrykkene for F_2 og F_4 får kraftmomentet for en strømkreds med arealet A

$$\vec{\tau} = -IAB \sin \theta \hat{x}$$

Magnetisk kraftmoment på en magnetisk dipol

En lukket strømkreds (current loop) kaldes også en **magnetisk dipol** og størrelsen af strømmen gange arealet kaldes det magnetiske dipol moment μ

$$\vec{\mu} = NIA\hat{n}$$

Hvor vi har introduceret muligheden for, at kredsen har N vindinger. Dette lader os omskrive kraftmomentet til

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Desuden har en magnetisk dipol energien

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos \phi$$

Regneeksempel med magnetisk dipol

Forces and Torques on Current-Carrying Loops

A circular current loop of radius 2.0 cm carries a current of 2.0 mA. (a) What is the magnitude of its magnetic dipole moment? (b) If the dipole is oriented at 30 degrees to a uniform magnetic field of magnitude 0.50 T, what is the magnitude of the torque it experiences and what is its potential energy?

Regneeksempel med magnetisk dipol

Solution

- a. The magnetic moment μ is calculated by the current times the area of the loop or πr^2 .

$$\mu = IA = (2.0 \times 10^{-3} \text{ A})(\pi(0.02 \text{ m})^2) = 2.5 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

- b. The torque and potential energy are calculated by identifying the magnetic moment, magnetic field, and the angle between these two vectors. The calculations of these quantities are:

$$\tau = \vec{\mu} \times \vec{B} = \mu B \sin \theta = (2.5 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{m}^2) (0.50 \text{ T}) \sin(30^\circ) = 6.3 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos \theta = -(2.5 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{m}^2) (0.50 \text{ T}) \cos(30^\circ) = -1.1 \times 10^{-6} \text{ J}.$$

Hvad skal jeg lære i dag?

- Tegne og fortolke magnetiske felter fra magneter
- Uregne den magnetiske kraft på en ladet partikel og beskrive partikelbanen i et uniformt magnetfelt
- Uregne størrelse og angive retning af den magnetiske kraft på en strømførende ledning
- Uregne størrelse og retning af magnetisk kraft og kraftmoment på en magnetisk dipol



#/#/#

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Question slide

Hvad er lige nu mest uklart?

Fortolkningen af magnetiske feltlinjer

 0%

Den magnetiske kraft på en ladet partikel ($F = qv \times B$)

 0%

Den magnetiske kraft på en strømførende ledning ($F = IL \times B$)

 0%

Kraftmoment på magnetisk dipol $\tau = \mu \times B$

 0%



#/#/#

Join at: vevox.app

ID: 193-274-526

Results slide



Hvad er lige nu mest uklart?

Fortolkningen af magnetiske feltlinjer



0%

Den magnetiske kraft på en ladet partikel ($F = qv \times B$)



0%

Den magnetiske kraft på en strømførende ledning ($F = IL \times B$)



0%

Kraftmoment på magnetisk dipol $\tau = \mu \times B$



0%

Ligninger

Force on a charge in a magnetic field

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Magnitude of magnetic force

$$F = qvB\sin\theta$$

Radius of a particle's path in a magnetic field

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

Period of a particle's motion in a magnetic field

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Force on a current-carrying wire in a uniform magnetic field

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

Magnetic dipole moment

$$\vec{\mu} = NI A \hat{n}$$

Torque on a current loop

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Energy of a magnetic dipole

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

Ligninger

Average electrical current

$$I_{\text{ave}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Common expression of Ohm's law

$$V = IR$$

Definition of an ampere

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$

Resistivity as a function of temperature

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

Electrical current

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Definition of resistance

$$R \equiv \frac{V}{I}$$

Drift velocity

$$v_d = \frac{I}{nqA}$$

Resistance of a cylinder of material

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Current density

$$I = \iint_{\text{area}} \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

Temperature dependence of resistance

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Resistivity

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Electric power

$$P = IV$$

Power dissipated by a resistor

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Ligninger

Coulomb's law

$$\vec{\mathbf{F}}_{12}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

Superposition of electric forces

$$\vec{\mathbf{F}}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} Q \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

Electric force due to an electric field

$$\vec{\mathbf{F}} = Q \vec{\mathbf{E}}$$

Electric field at point P

$$\vec{\mathbf{E}}(P) \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

Field of an infinite wire

$$\vec{\mathbf{E}}(z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\lambda}{z} \hat{\mathbf{k}}$$

Field of an infinite plane

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{\mathbf{k}}$$

Potential energy of a two-charge system

$$U(r) = k \frac{qQ}{r}$$

Work done to assemble a system of charges

$$W_{12\dots N} = \frac{k}{2} \sum_i \sum_j^N \frac{q_i q_j}{r_{ij}} \text{ for } i \neq j$$