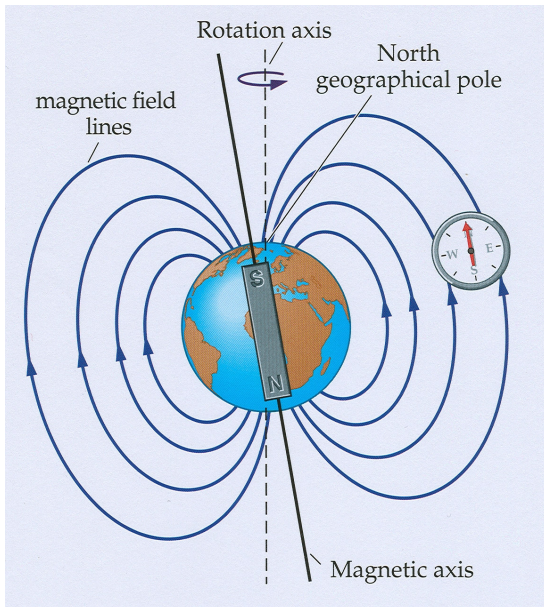


7.4. DRUGA MAXWELLOVA JEDNADŽBA

Magnetsko polje možemo predočiti silnicama- gdje su silnice gušće, magnetska indukcija i jakost magnetskog polja su veći. Homogeno magnetsko polje je predočeno paralelnim ekvidistantnim silnicama.



Magnetsko polje Zemlje

TOK MAGNETSKOG POLJA ϕ_B je skup silnica koje prolaze kroz neku plohu. Za homogeno polje tok kroz ravnu površinu S , okomitu na magnetske silnice i na vektor \vec{B} je: $\phi_B = BS$

SLIKA: TOK MAGNETSKOG POLJA – HENČ-BARTOLIĆ, KULIŠIĆ – SL. 3.4. STR. 136.

B je magnetska indukcija ili gustoća magnetskog toka. $B = \phi_B / S$.

Ako silnice homogenog magnetskog polja padaju pod nekim kutom θ na površinu S , onda je tok: $\phi_B = BS \cos \theta = \vec{B} \cdot \vec{S}$.

Plohu podijelimo na infinitenzimalno male elemente dS , pa je tok: $\phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$

Jedinica magnetskog toka: $[\phi_B] = [B][S] = \text{Tm}^2 = \text{Vs} = \text{Wb}$ (weber)

Tok vektorskog polja kroz zatvorenu plohu jednak je zbroju svih izvora unutar plohe (Gaussov zakon).

Budući nema izoliranih magnetskih polova, magnetske silnice su zatvorene krivulje – broj silnica koje ulaze u neku zatvorenu plohu jednak je broju silnica koje izlaze iz te plohe.

Magnetski tok magneta oblika štapa kroz zamišljenu kuglu.

SLIKA: UKUPNI TOK MAGNETSKOG POLJA KROZ ZATVORENU PLOHU – HENČ-BARTOLIĆ, KULIŠIĆ – SL. 3.5. STR. 137.

Magnetski tok kroz bilo koju zatvorenu plohu = 0: $\phi_B = \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

Gaussov zakon za magnetizam ili DRUGA MAXWELLOVA JEDNADŽBA U INTEGRALNOM OBLIKU.

Diferencijalni oblik – analogno onome što smo imali za 1. Maxwellovu jednadžbu:

$$\text{div} \vec{B} = 0 \qquad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

DRUGA MAXWELLOVA JEDNADŽBA U DIFERENCIJALNOM OBLIKU.

Nema izoliranih magnetskih naboja.

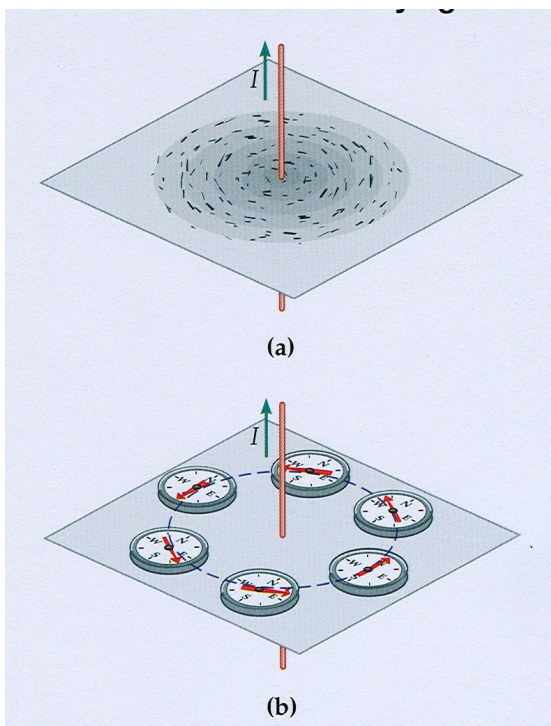
U pravokutnim koordinatama: $\frac{\partial}{\partial x} B_x + \frac{\partial}{\partial y} B_y + \frac{\partial}{\partial z} B_z = 0$

Divergencija je mjera jakosti izvora i ponora, to jest mjeri strujanje iz neke točke.

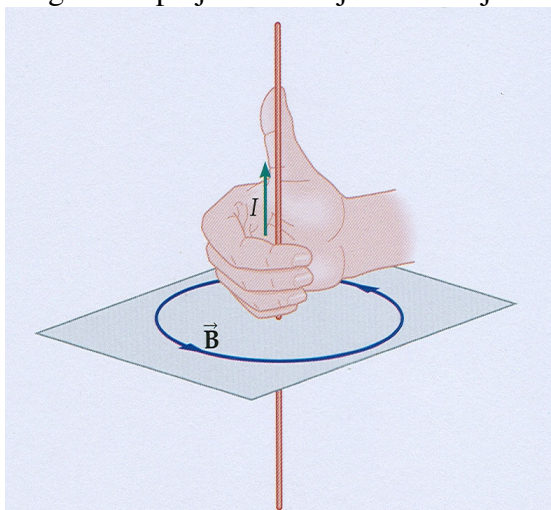
7.5. OERSTEDOV POKUS

1819. godine ga je izveo Oersted – veza između električne struje i magnetskog polja. Električna struja I je uzrok postojanja magnetskog polja. Smjer magnetskog polja je određen PRAVILOM DESNE RUKE: palac pokazuje smjer električne struje u vodiču, a prsti smjer magnetskog polja oko vodiča.

SLIKA: PRAVILO DESNE RUKE I SMJER MAGNETSKOG POLJA OKO RAVNOG VODIČA – HORVAT SL.5.2. STR. 5-2.



Magnetsko polje u žici koja vodi struju



Pravilo desne ruke

7.6. LORENTZOVA SILA

Želimo odrediti magnetsko polje u nekoj točki prostora koje je nastalo prolaskom električne struje kroz neki vodič. Magnetsko polje predstavljamo vektorom \vec{B} , odnosno gustoćom magnetskog toka ili magnetskom indukcijom (jedinica je T – tesla).

Magnetsko polje:

- je proizvedeno prolaskom električne struje kroz vodič kao u Oerstedovom pokusu,
- ili je nastalo zbog prisustva premanentnog magneta.

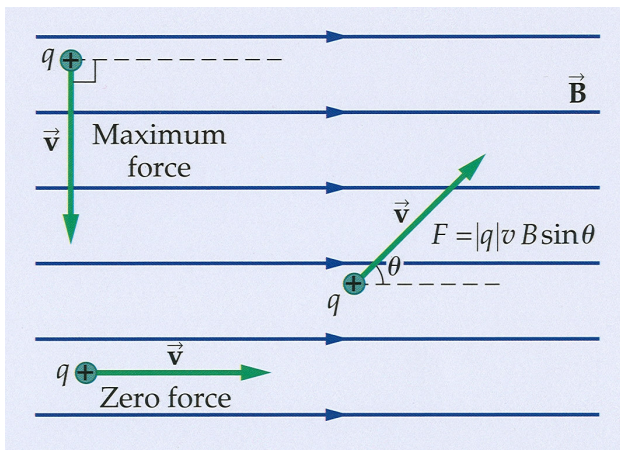
Magnetsko polje djeluje na naboj koji se giba brzinom v , magnetskom silom \vec{F}_m .

Pokusi pokazuju sljedeće:

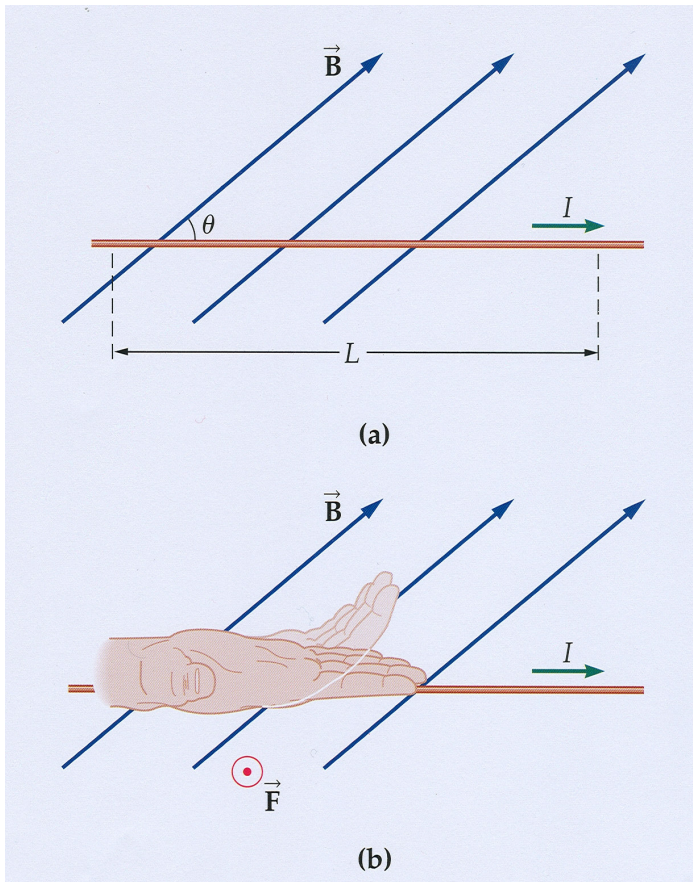
- iznos magnetske sile F_m je proporcionalan količini naboja Q i brzini naboja v : $F_m \propto Qv$
- iznos magnetske sile F_m ovisi o iznosu magnetskog polja B : $F_m \propto B$
- smjer magnetske sile \vec{F}_m je okomit na smjer vektora brzine \vec{v} i na smjer vektora magnetskog polja \vec{B} : $\vec{F}_m \perp \vec{v}$ i $\vec{F}_m \perp \vec{B}$
- smjer magnetske sile \vec{F}_m na pozitivan naboj suprotan je smjeru sile na negativan naboj
- iznos magnetske sile F_m ovisi o kutu θ između smjera brzine \vec{v} i smjera magnetskog polja \vec{B} : $F_m \propto \sin \theta$

Sve nam to daje izraz za magnetsku silu \vec{F}_m : $\vec{F}_m = Q\vec{v} \times \vec{B}$

Iznos magnetske sile je: $F_m = QvB \sin \theta$



Magnetska sila na nabijenu česticu u gibanju



Magnetska sila na žicu koja vodi struju

Magnetska sila je zapravo dio ukupne električne i magnetske sile koju zovemo Lorentzova sila \vec{F}_L : $\vec{F}_L = \vec{F}_e + \vec{F}_m = Q\vec{E} + Q\vec{v} \times \vec{B}$

Sila \vec{F}_e je uvijek u smjeru električnog polja (ili suprotno, ovisno o predznaku naboja Q).

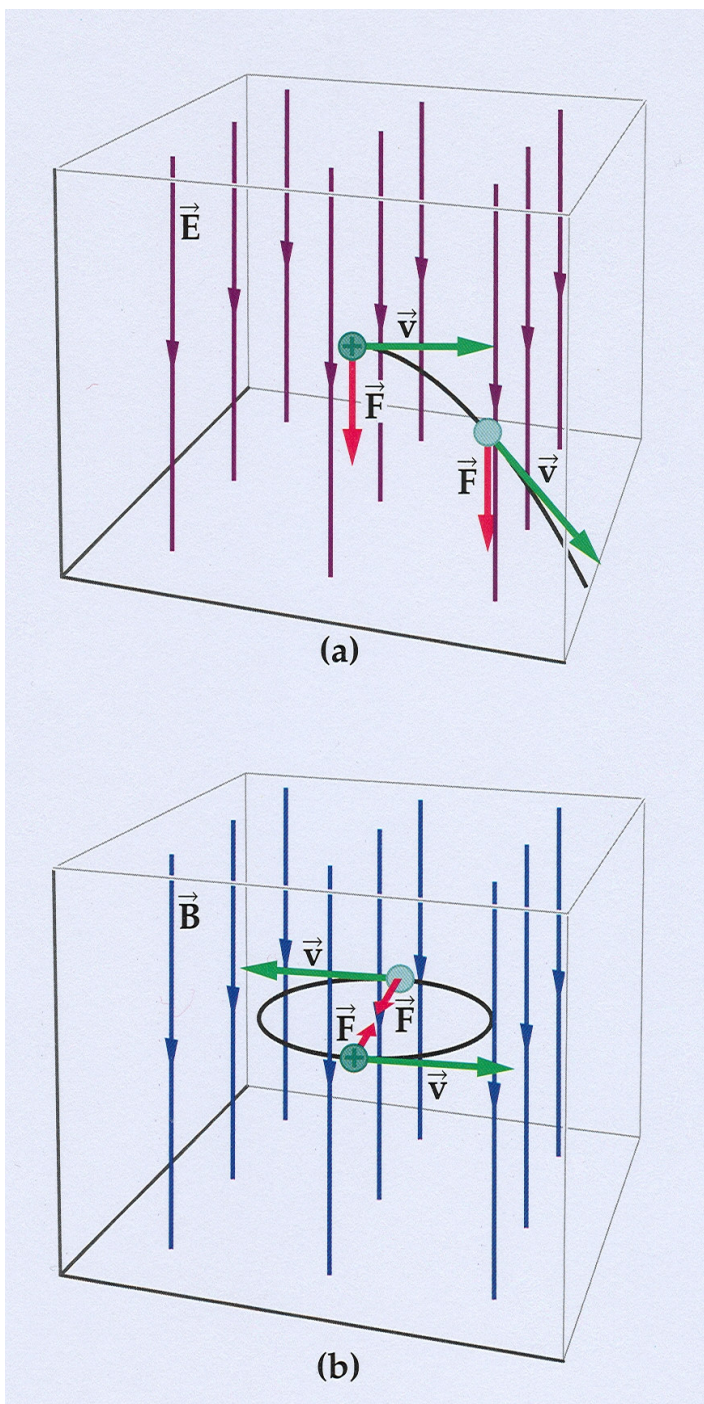
Sila \vec{F}_m je uvijek okomita na smjer magnetskog polja \vec{B} .

\vec{F}_e ne ovisi o brzini čestice, a \vec{F}_m djeluje samo ako se naboj giba.

\vec{F}_e vrši rad u premještanju naboja Q .

\vec{F}_m ne vrši rad u premjetanju naboja Q jer je: $\vec{F}_m \cdot d\vec{l} = \vec{F}_m \cdot \vec{v}dt = Q(\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{v}dt = 0$.

\vec{F}_m ne mijenja iznos brzine već samo njen smjer.



Razlike između gibanja u električnom i magnetskom polju

7.7. SILA NA VODIČ U MAGNETSKOM POLJU

Promatrat ćemo vodič duljine dl i površine poprečnog presjeka S kroz koji teče struja I , te koji se nalazi u vanjskom homogenom magnetskom polju \vec{B} . Pojedini naboji q u vodiču se gibaju brzinom \vec{v}_d pa je sila na njih $q\vec{v}_d \times \vec{B}$.

SLIKA: VODIČ KOJIM TEČE STRUJA U MAGNETSKOM POLJU – HORVAT SL.5.4. STR. 5-5.

Ukupni naboj u volumenu $dV = Sdl$ vodiča je: $dQ = nq dV = nqSdl$, gdje je n broj naboja u jedinici volumena.

Ako je struja dana s $I = nqv_d S$, onda silu na vodič duljine dl možemo pisati kao:

$$d\vec{F} = (q\vec{v}_d \times \vec{B})nSdl = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

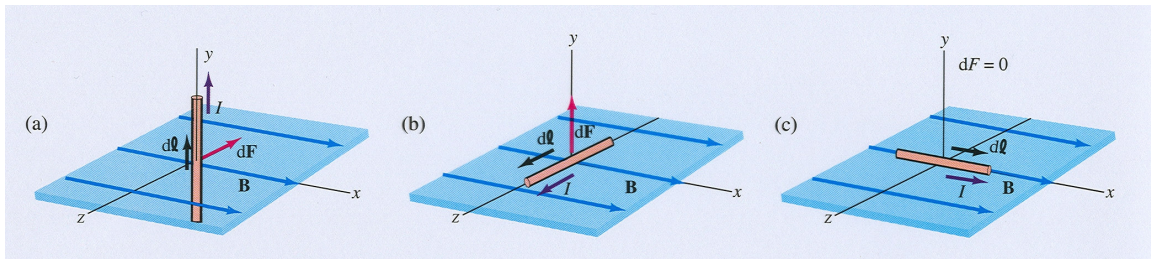
Vektor $d\vec{l}$ je u smjeru \vec{v}_d .

Ukupnu silu dobijemo zbrajanjem, odnosno integriranjem svih doprinosa $d\vec{F}$ duž cijelog vodiča: $\vec{F} = I \int_A^B d\vec{l} \times \vec{B}$

S obzirom da su brzina \vec{v}_d , električna struja \vec{I} i $d\vec{l}$ svi u istom smjeru, onda možemo pisati: $\vec{F} = \int_A^B (\vec{I} \times \vec{B}) dl$

Ukupna sila na dio vodiča između A i B je jednaka sili na dio ravnog vodiča koji spaja točke A i B: $\vec{F} = \int_A^B (\vec{I} \times \vec{B}) dl = I \vec{AB} \times \vec{B}$

Ukupna sila na zatvoreni vodič, kojim teče struja, i koji se nalazi u homogenom magnetskom polju, = 0.



7.8. DEFINICIJA AMPERA (POKUS)

Razmatramo 2 ravna paralelna vodiča duljine l , koji su razmaknuti za d , te provode električnu struju jakosti I_1 i I_2 . Svaki vodič će na mjestu drugog vodiča stvoriti magnetsko polje \vec{B} , koje će djelovati na vodič silom.

SLIKA: UZ DEFINICIJU AMPERA – HORVAT SL.5.7. STR. 5-8.

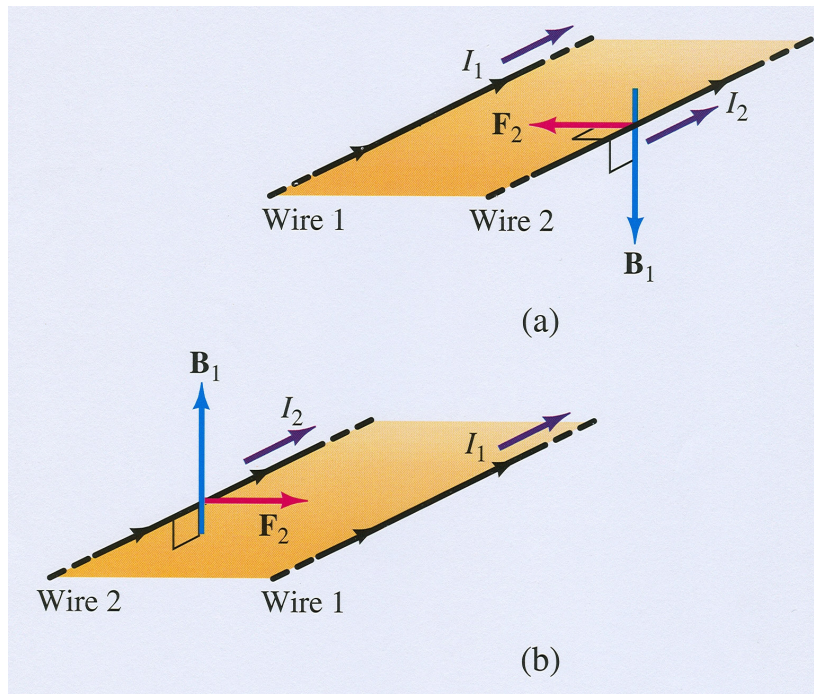
Sila na vodič 1 zbog magnetskog polja B_2 stvorenog vodičem 2 je:

$$F = I_1 B_2 l = I_1 \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} l = I_1 \frac{2\mu_0 I_2}{4\pi d} l = 2 \frac{\mu_0}{4\pi} l \frac{I_1 I_2}{d}$$

Gdje je $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ magnetsko polje tankog ravnog vodiča na udaljenosti d od vodiča. Sila ovisi o duljini vodiča l .

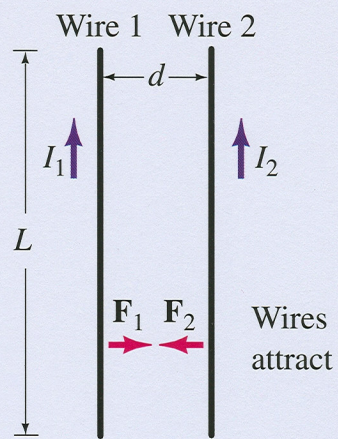
Uzet ćemo da je $I_1 = I_2 = I$ te podesiti ostale parametre tako da je: $F/l = 2 \cdot 10^{-7}$ N/m.

Ako je udaljenost između vodiča $d = 1$ m, onda vodičem teče struja od 1 A. Ako struje teku u istom smjeru, sila je privlačna, u suprotnom je sila odbojna. Tom definicijom je određena i konstanta $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ Wb/Am.





(b)



(d)

