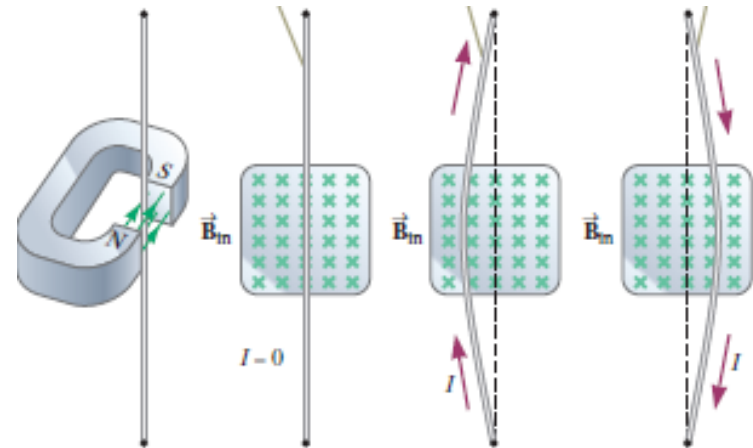
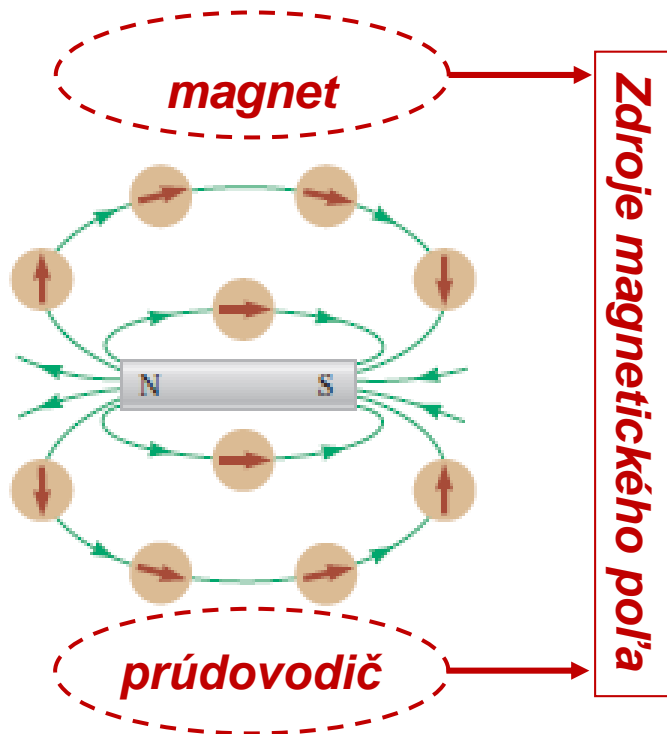
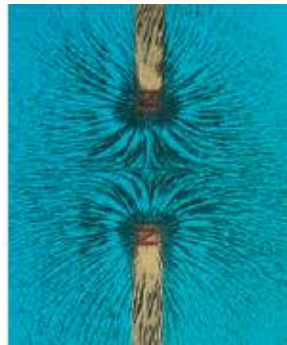
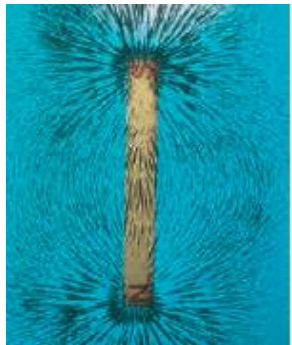


Magnetické pole

Magnetické pole

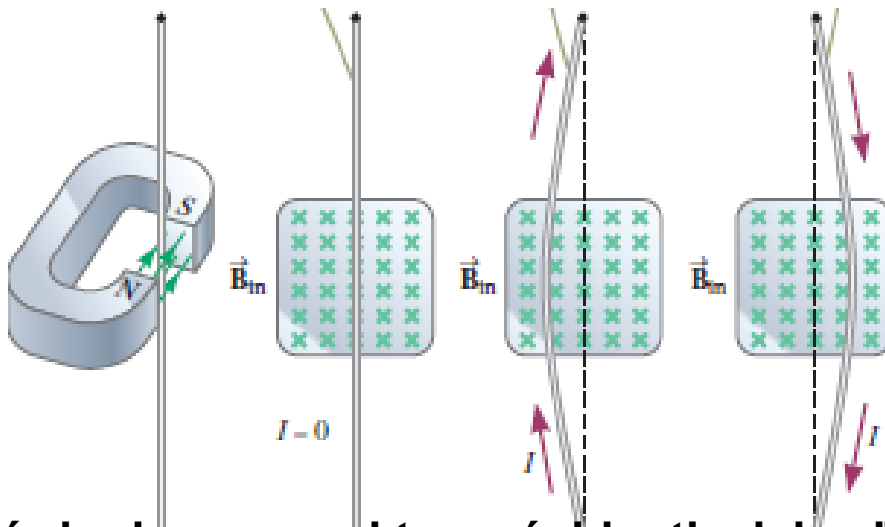


Pole pôsobí iba na
pohybujúci sa náboj



Vlastnosti magnetickej sily pôsobiacej na náboj

- Veľkosť F ktorou pôsobí magnetické pole na časticu je úmerná jej náboju a rýchlosti.
- Magnetická sila F pôsobiaca na časticu je nulová, ak sa častica pohybuje v smere magnetickej indukcie B .
- Ak rýchlosť častice zvierá s vektorom B uhol rôzny od nuly, pôsobiaca magnetická sila F je kolmá na smer rýchlosti.
- veľkosť magnetickej sily F pôsobiacej na časticu je úmerná sinus uhu medzi vektormi B a vektorom rýchlosti náboja v .



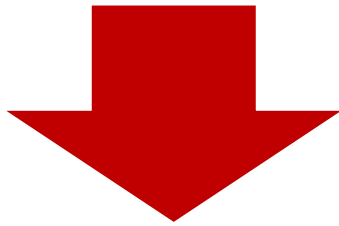
Závisí aj od smeru vektora rýchlosti a jej veľkosti

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

Náboj, ktorý pretečie prierezom vodiča za jednotku času

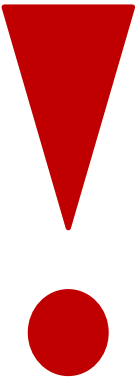
Vlastnosti magnetickej sily pôsobiacej na náboj

- Veľkosť F ktorou pôsobí magnetické pole na časticu je úmerná jej náboju a rýchlosti.
- Magnetická sila pôsobiaca na časticu je nulová, ak sa častica pohybuje v smere magnetickej indukcie B .
- Ak rýchlosť častice zvierá s vektorom B uhol rôzny od nuly, pôsobiaca magnetická sila je kolmá na smer rýchlosti.
- veľkosť magnetickej sily pôsobiacej na časticu je úmerná sinusu uhla medzi vektormi B a vektorom rýchlosti náboja v .



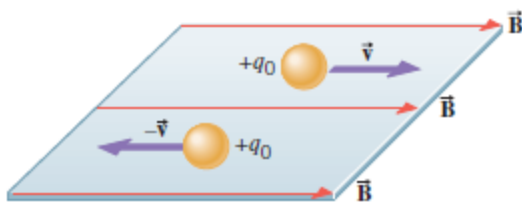
$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Magnetická sila nemôže meniť veľkosť rýchlosti častice, iba jej smer.



Magnetické pole sa prejavuje silovým pôsobením na pohybujúce sa elektrické náboje, alebo elektrické prúdy.

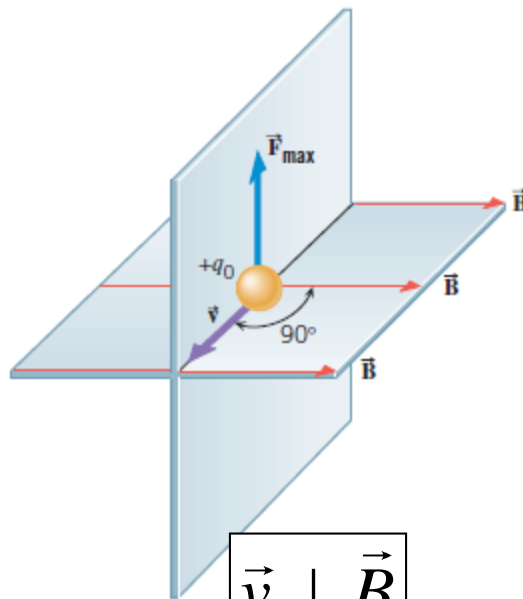
$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$



$$\vec{v} \parallel \vec{B}$$

Nijaký silový účinok

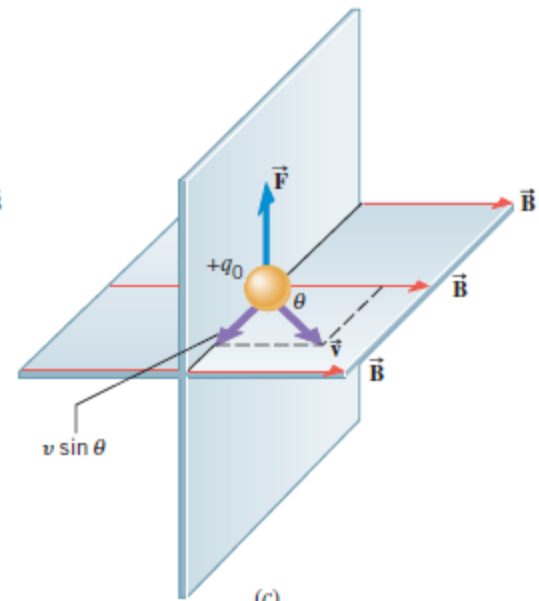
$$F=0$$



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

Najväčší silový účinok

$$F=qvB$$

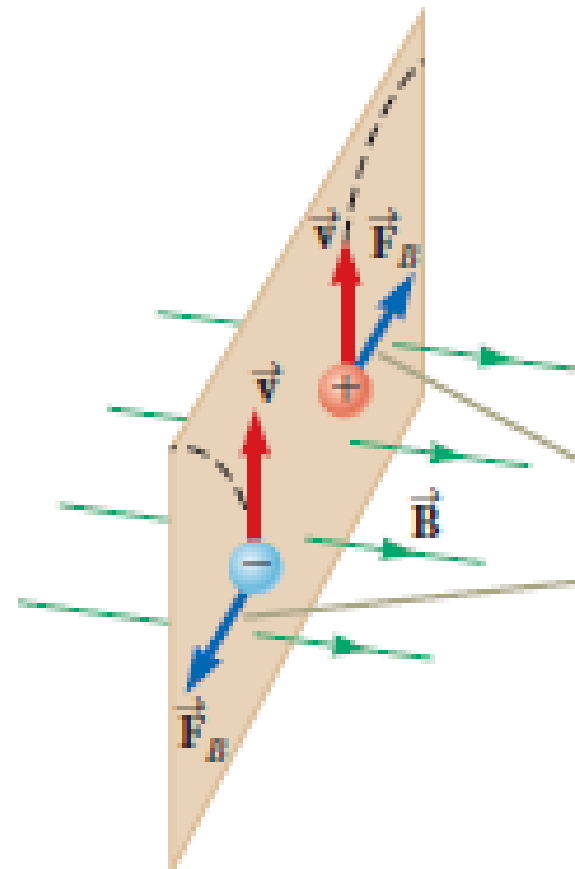
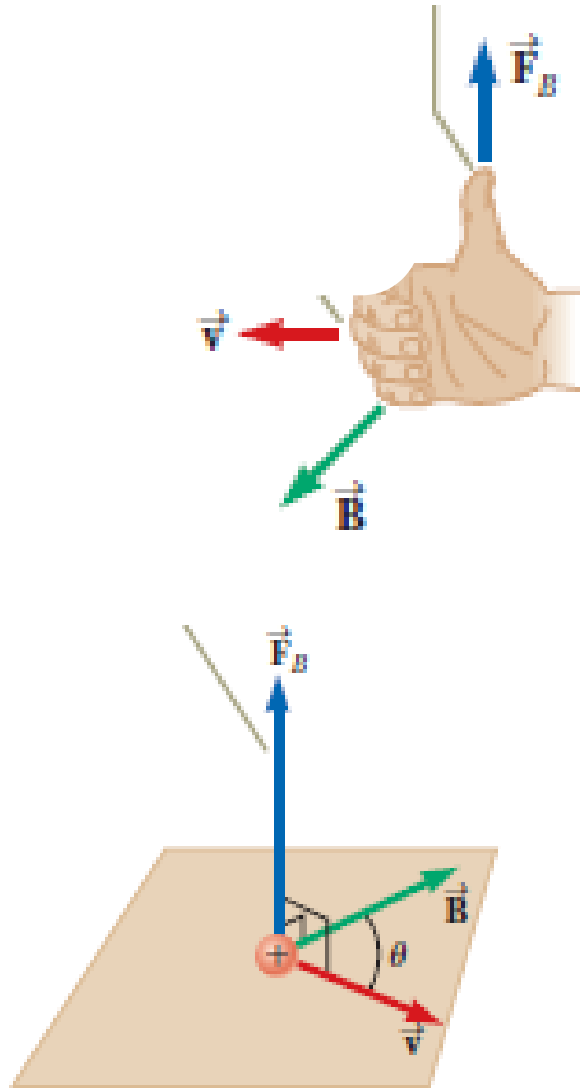


Silový účinok medzi

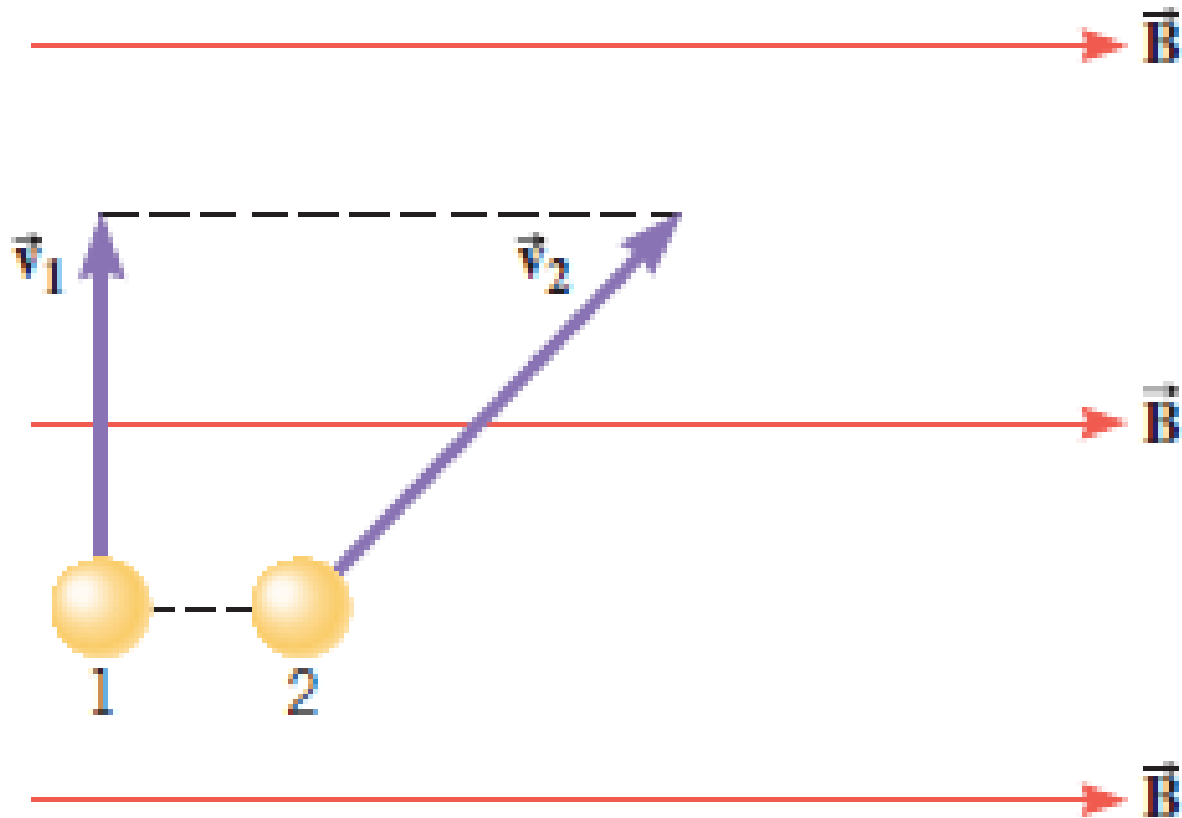
$$F \in < 0, qvB >$$

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

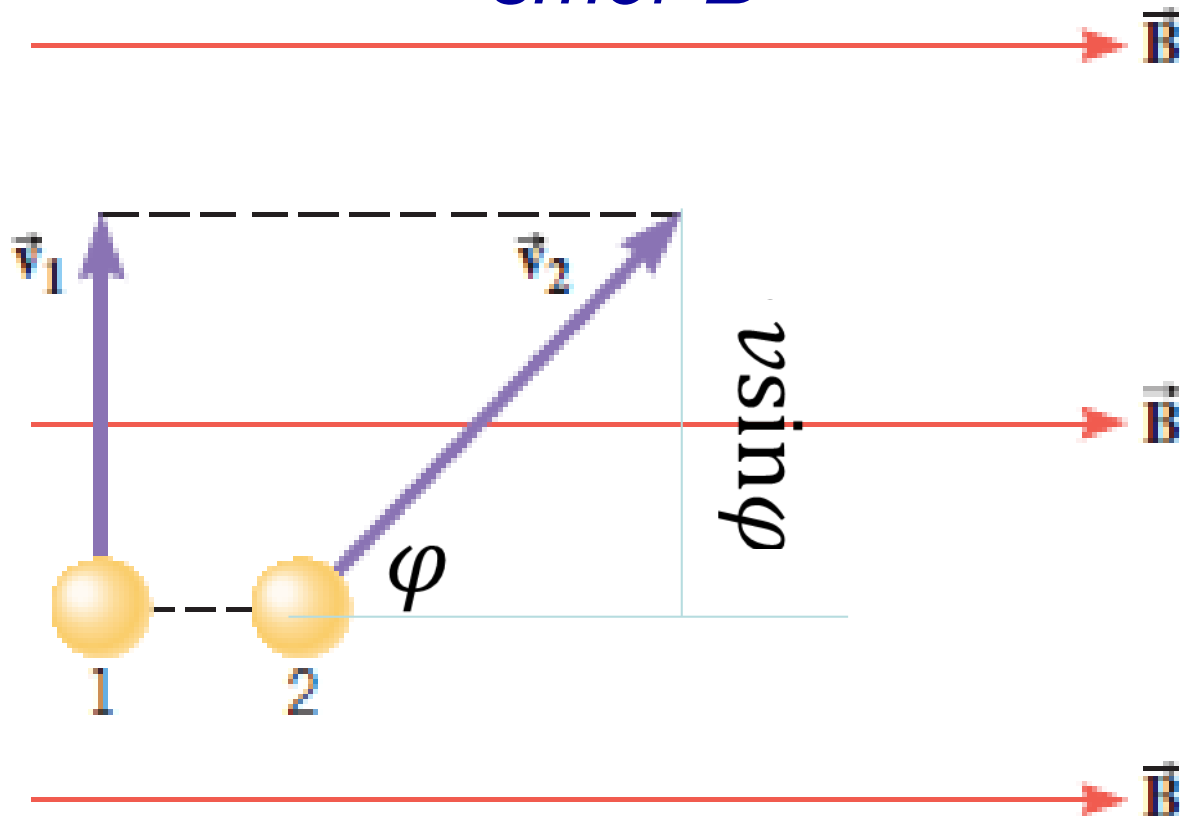
Pozor na znamienko náboja



$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B} = q(\vec{v}_{\parallel} + \vec{v}_{\perp}) \times \vec{B} =$$



*O veľkosti účinku rozhoduje priemet
vektora rýchlosti do smeru kolmého na
smer B*



$$|\vec{F}| = qBv \sin \varphi$$

Magnetické pole

Magnetické pole sa prejavuje silovým pôsobením na pohybujúce sa elektrické náboje, alebo elektrické prúdy. Z pozorovaní vyplýva, že sila na pohybujúci sa elektrický náboj závisí od náboja, vektora rýchlosti, veľkosti a orientácie magnetického poľa. **Ak magnetické pole charakterizujeme vektorovou veličinou \vec{B}** , ktorú nazveme magnetická indukcia, potom pre silu pôsobiacu na pohybujúci sa elektrický náboj platí:

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

Magnetická sila nemôže meniť veľkosť rýchlosti častice, iba jej smer.

Jednotka

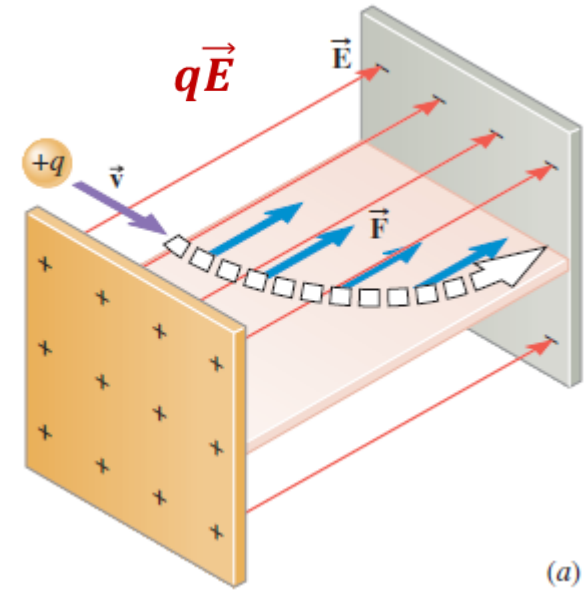
$$B = \frac{F}{|Q|v} = \frac{\text{N}}{\text{C m s}^{-1}} = \text{N A}^{-1} \text{m}^{-1} = 1 \text{ tesla} = 1 \text{ T.}$$

Rozdiely medzi silovými účinkami elektrického a magnetického poľa

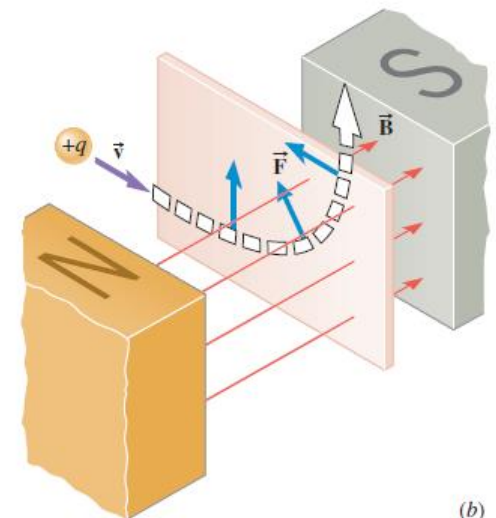
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} + q\vec{E}$$

Lorenzova sila

- Elektrická sila pôsobí na náboj pozdĺž intenzity elektrického poľa, magnetická je kolmá na magnetické pole
- Elektrická sila pôsobí na náboj bez ohľadu na pohybový stav, magnetická pôsobí iba vtedy, keď je náboj v pohybe
- Elektrická sila koná prácu, magnetická nekoná.



(a)



(b)

Pohyb nabitých častíc v elektromagnetickom poli

Pokusy: Sila pôsobiaca na náboj nezávisí len od jeho náboja ale aj od rýchlosti

Lorentzova sila

“magnetická“

- Pôsobí iba na pohybujúci sa náboj
- Nevykonáva prácu

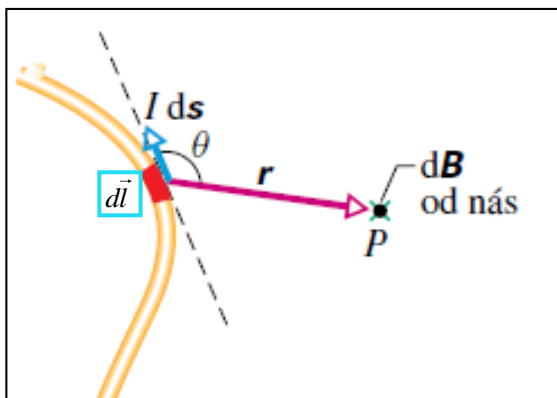
“elektrická“

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

Jednotka 1 T

$$d\vec{E} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}}{r^3}$$

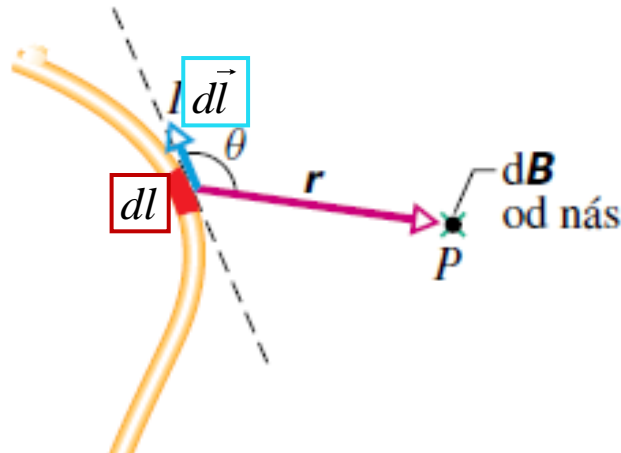
Elektrostatické pole vznikajúce v okolí náboja



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

Magnetické pole vznikajúce v okolí prúdovodiča, ktorým tečie prúd I

Magnetické pole elektrického prúdu



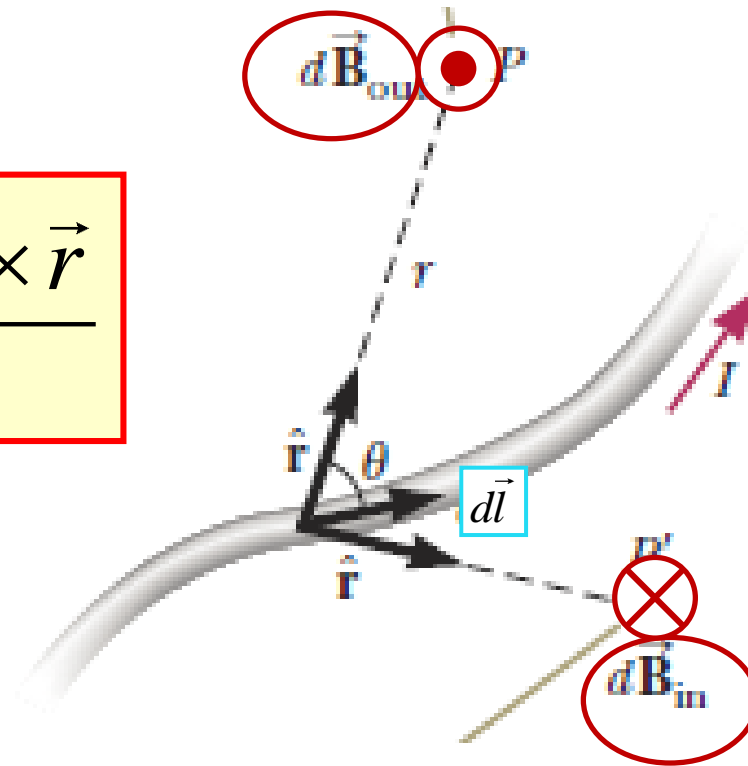
Biotov-Savartov zákon

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ TmA}^{-1}$$

*Smer vektora magnetickej
indukcie je von z papiera*

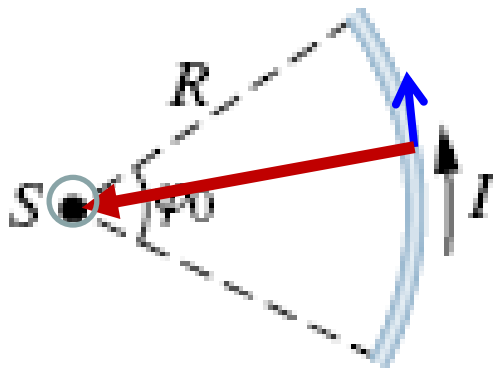
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$



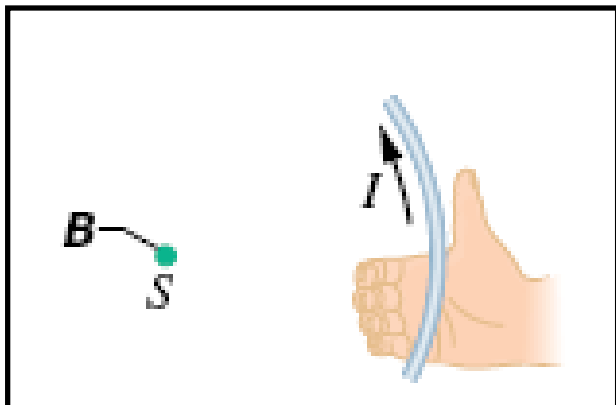
*Smer vektora magnetickej
indukcie je do papiera*

Magnetické pole kruhového oblúku

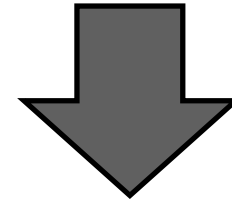
Stredový uhol



Určenie smeru



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

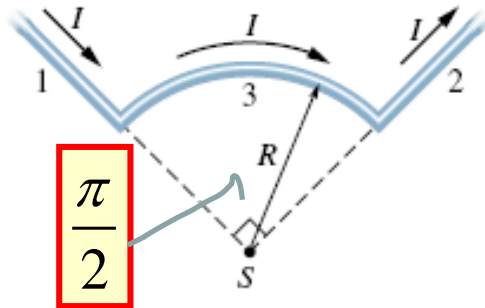


$$r = R$$

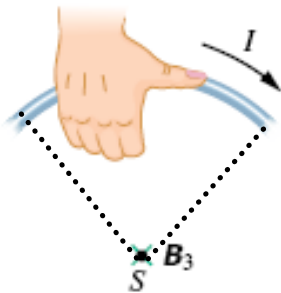
$$B = \int_0^{\varphi_0} \frac{\mu_0 I R d\varphi}{4\pi R^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \varphi_0$$

Pravidlo pravej ruky: Ak položíme palec pravej ruky v smere prúdového elementu, potom zahnuté prsty ukazujú smer magnetických indukčných čiar

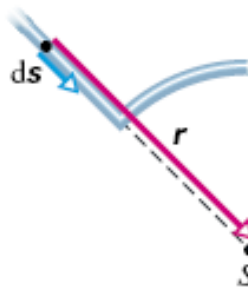
Superpozícia



Príspevok oblúku



$$B_3 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \frac{\pi}{2}$$



Príspevok priamej časti vodiča

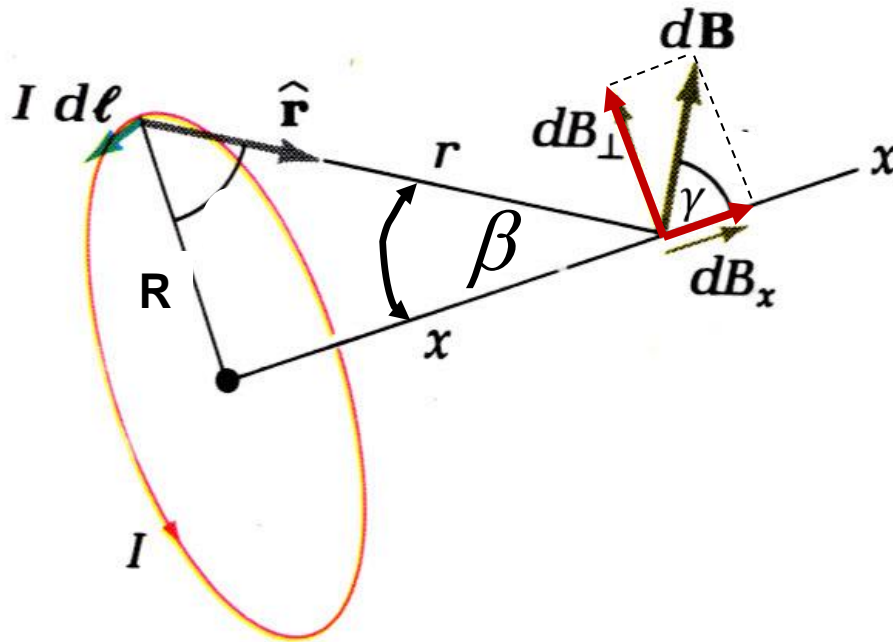
Priame časti drôtu neprispievajú k výslednému k výslednému magnetickému poľu (dl je kolmé na r) .

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} = \vec{0}$$

$$\vec{B}_1 = \vec{B}_2 = \vec{0}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \frac{\pi}{2}$$

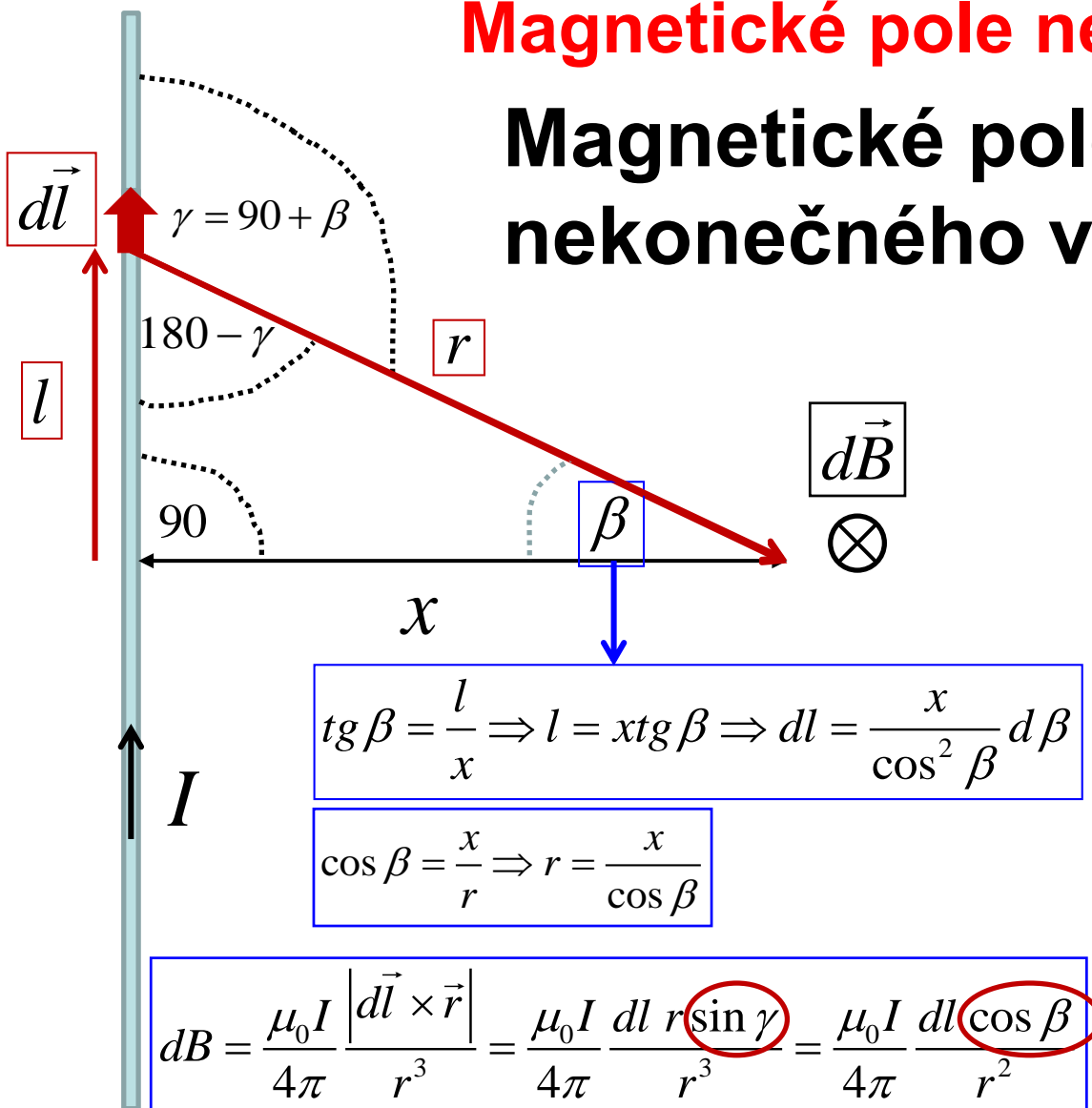
Magnetické pole na osi symetrie kruhového závitu



$$B = \frac{\mu_0 I 2\pi R^2}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}}$$

Magnetické pole nekonečného vodiča

Magnetické pole od nekonečného vodiča



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

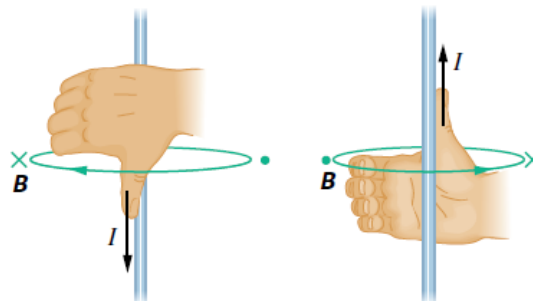
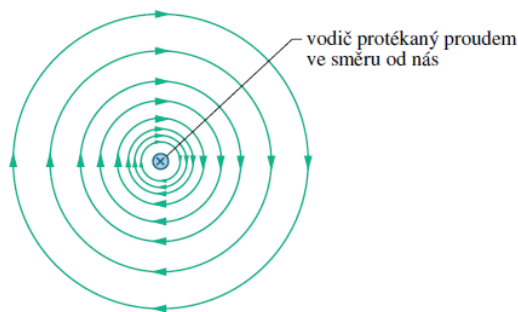
$$\sin \gamma = \sin(90 + \beta) = \sin 90 \cos \beta + \sin \beta \cos 90 = \cos \beta$$



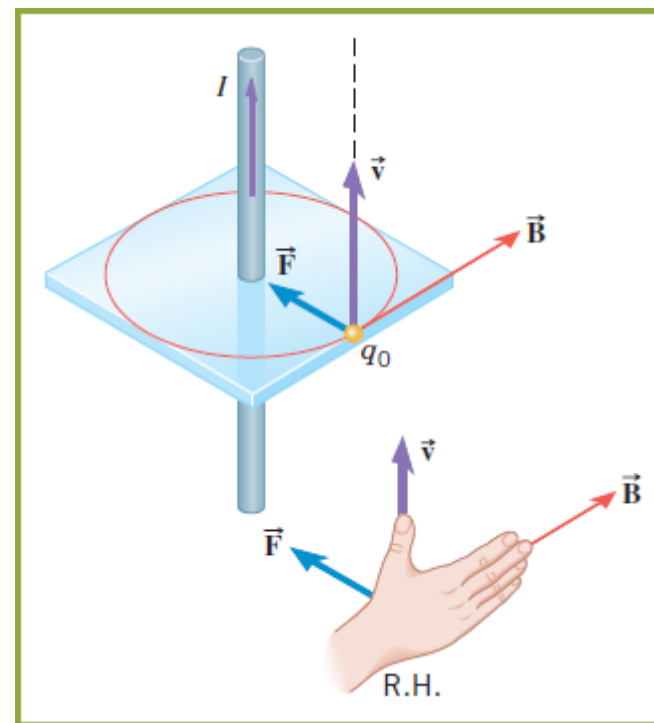
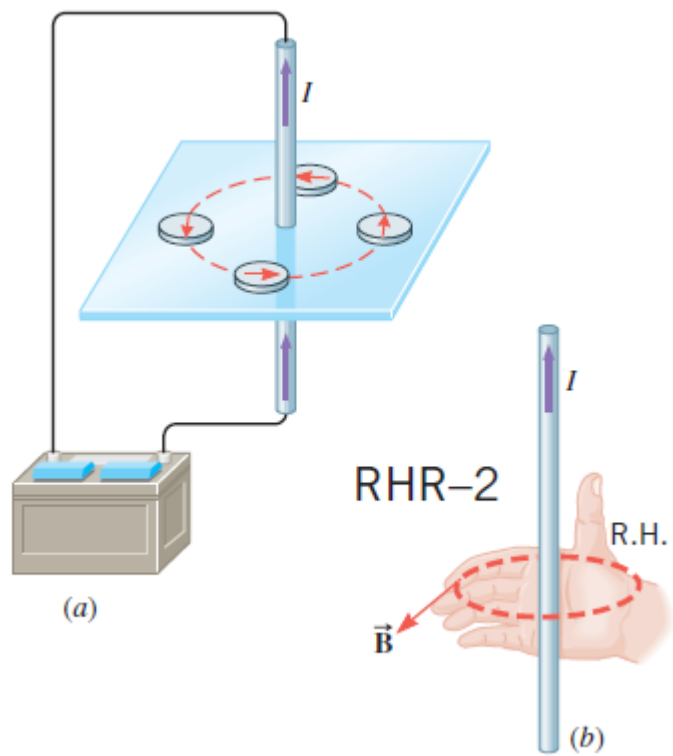
Magnetické pole dlhého priameho vodiča

- Indukčné čiary sú sústredné kružnice so stredom v strede vodiča.
- Magnetická indukcia klesá lineárne so vzdialenosťou od vodiča, najväčšia je na povrchu vodiča.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



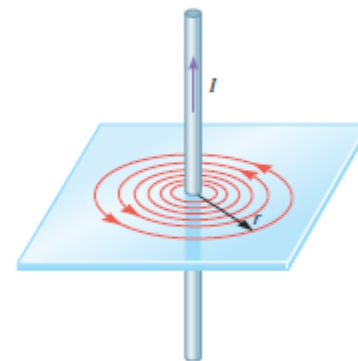
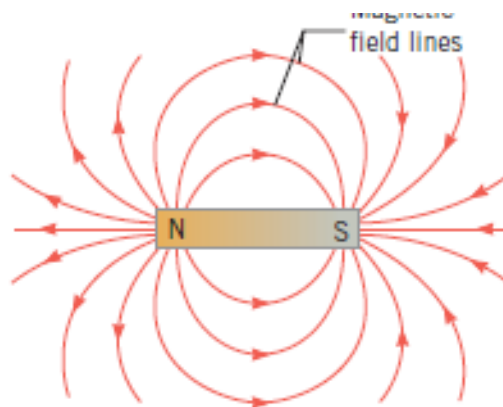
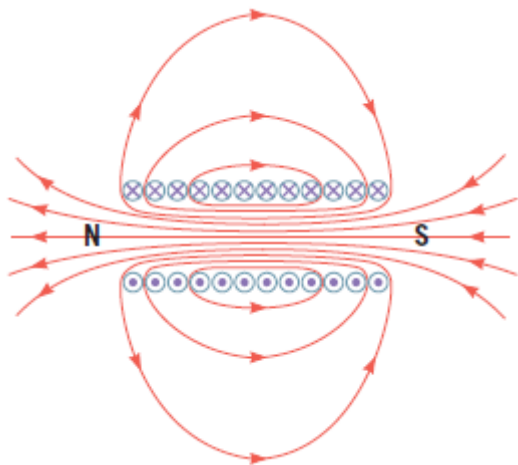
Pravidlo pravej ruky: Ak položíme palec pravej ruky v smere prúdového elementu, potom zahnuté prsty ukazujú smer magnetických indukčných čiar



Magnetické indukčné čiary

Magnetické indukčné čiary sú orientované krivky, ktorých dotyčnica v každom bode má smer vektora magnetickej indukcie.

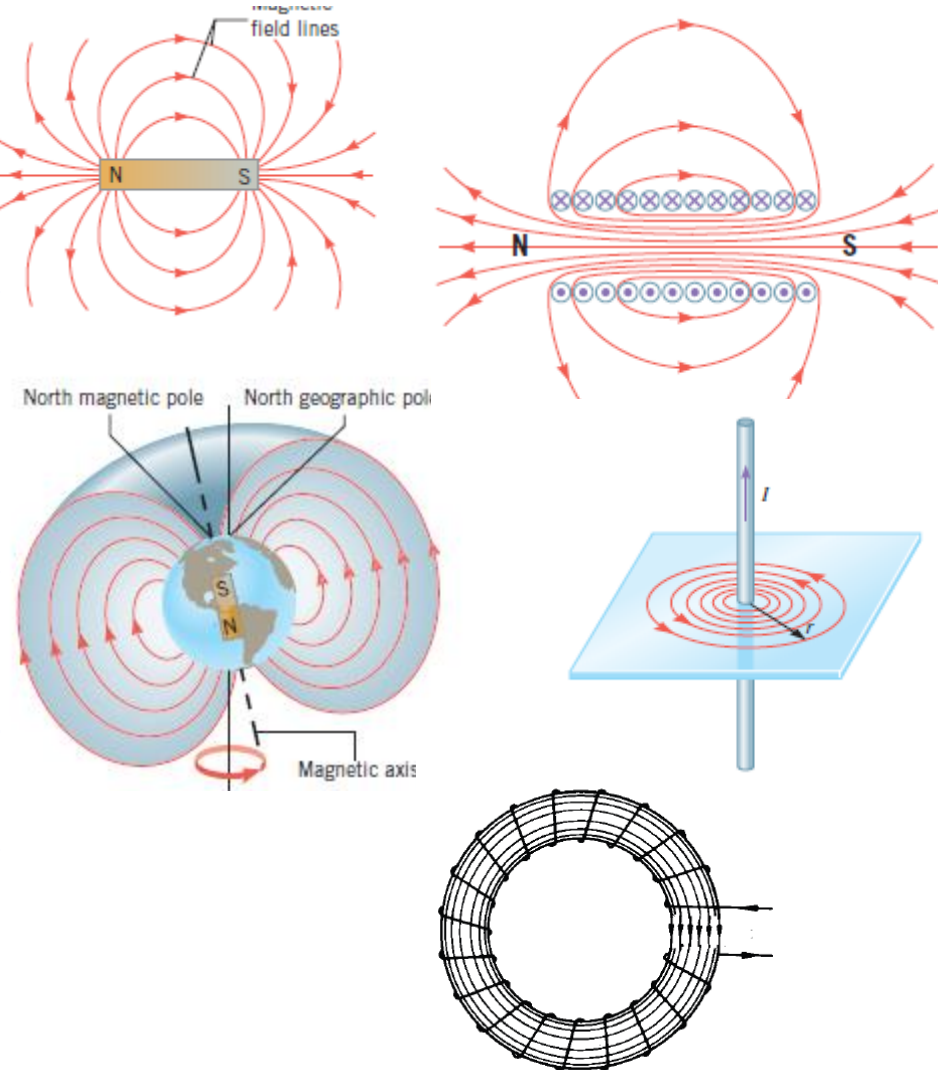
hustota magnetických indukčných čiar (t.j. počet indukčných čiar prechádzajúcich jednotkovou plochou kolmou na indukčné čiary) je úmerná veľkosti vektora magnetickej indukcie.



$$dN = \vec{B} \bullet d\vec{S}$$

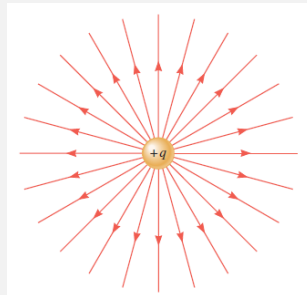
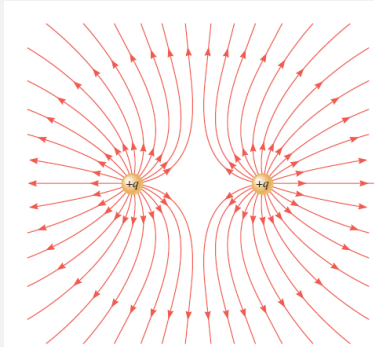
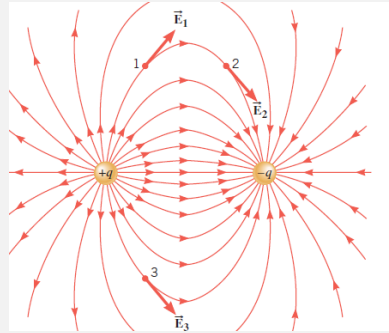
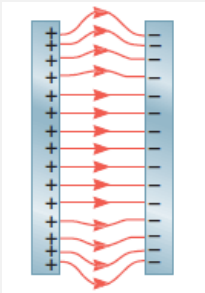
Nejestvovanie magnetických nábojov spôsobuje, že magnetické indukčné čiary sú uzavreté krivky.

Tvary magnetických indukčných čiar



**Vlastnosti
magnetického
poľa
(magnetické
indukčné čiary)**

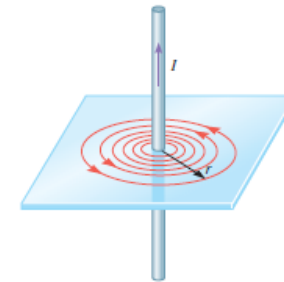
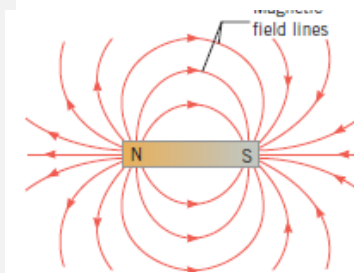
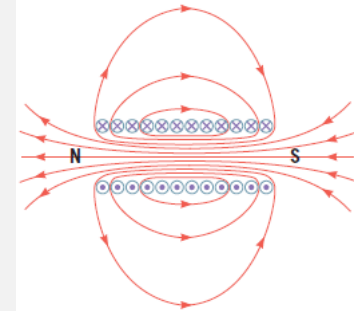
Elektrické siločiar



Elektrické siločiar končia a začínajú v elektrickom náboji

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

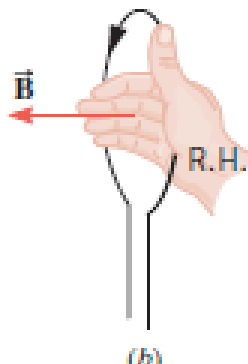
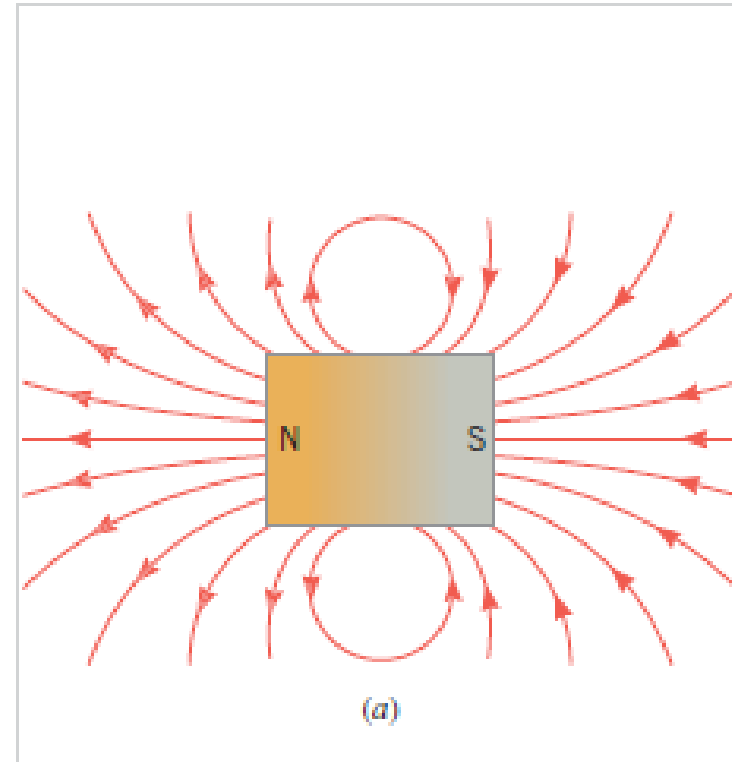
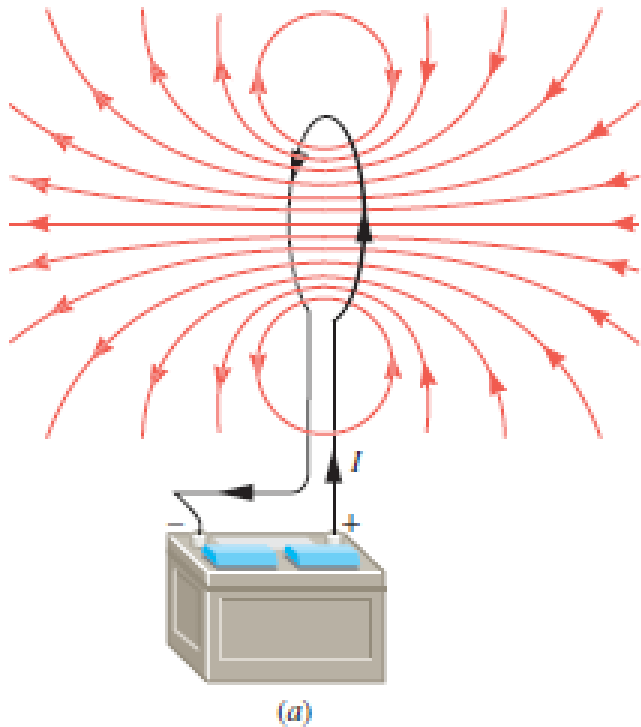
Magnetické indukčné



Magnetické indukčné čiar sú uzavreté, neexistuje "magnetický náboj" z ktorého by indukčné čiar vytekali, (vtekali) .

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Magnetické pole v okolí slučky a magnetu



slučka vytvárá magnetické pole podobné mag.poľu tyčového magnetu.

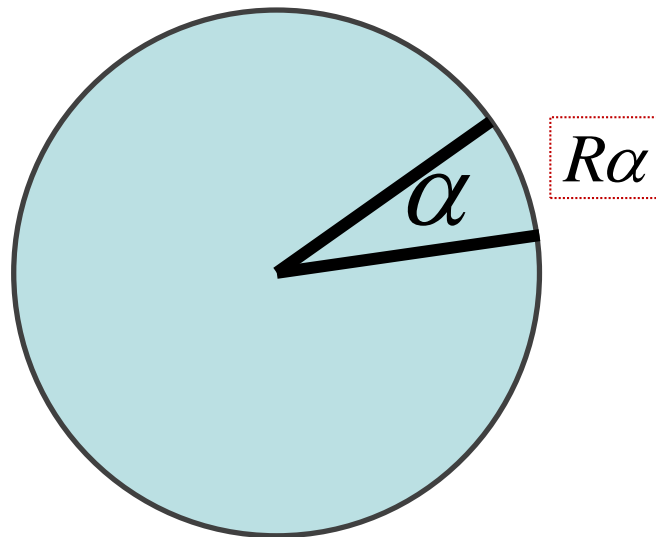
AMPÉROV ZÁKON

Délka kružnicového oblúka

$$dl_B = r d\alpha$$

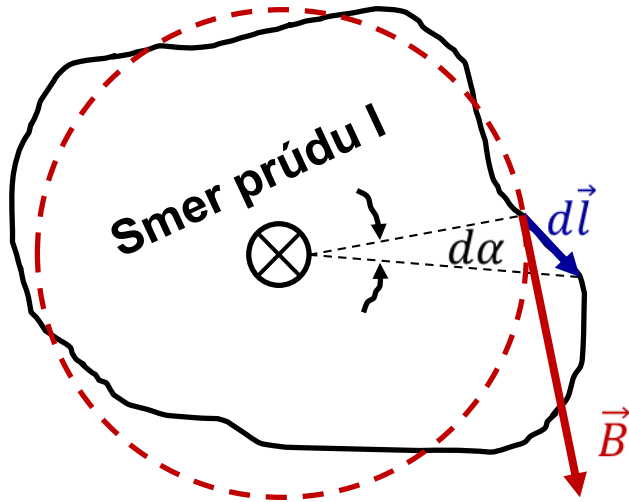
Stredový uhol


Celý uhol 2π



**Magnetická
indukčná čiara**

Ampérov zákon

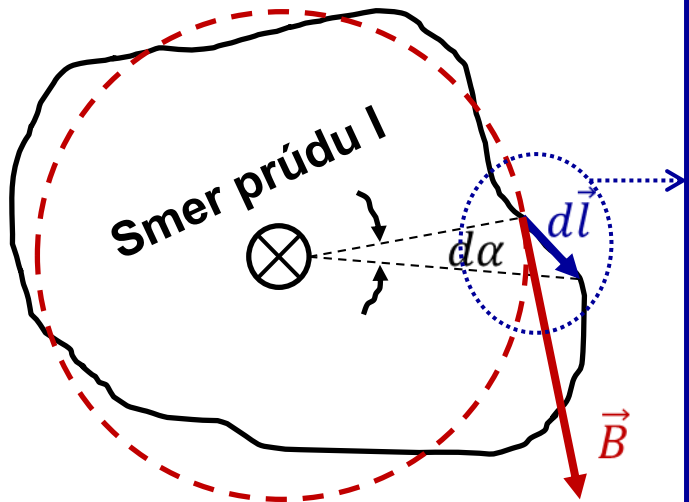



 $\vec{B} \cdot d\vec{l}$

**Vektor B je dotyčnicou k
indukčnej čiare**

**Magnetická
indukčná čiara**

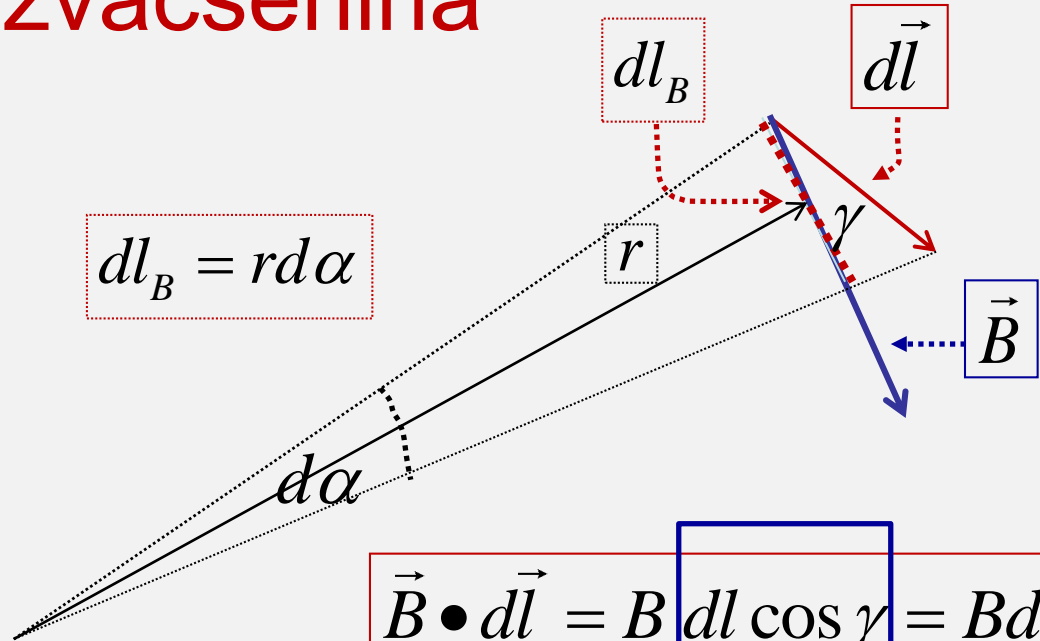
Ampérov zákon



Pre ľubovoľný element
dráhy $\vec{B} \cdot d\vec{l}$ nezávisí od
polomeru ale od uhlového
elementu $d\alpha$

zväčšenina

$$dl_B = r d\alpha$$



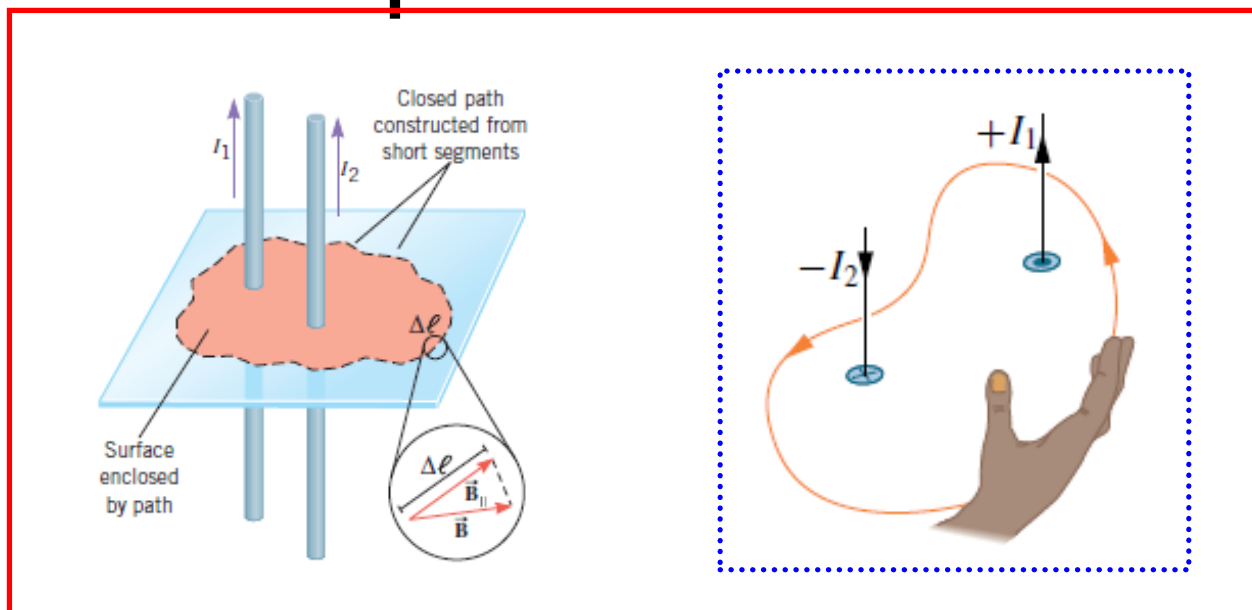
$$\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl \cos \gamma = B dl_B$$

dl_B – priemet dĺžkového elementu $d\vec{l}$ do smeru
vektora \vec{B} , t.j. dĺžka kružnicového oblúka.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl_B = \oint \frac{\mu_0 I}{2\pi r} r d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \oint d\alpha = \mu_0 I$$

**Uhly sčítavame v
jednom smere**

Ampérov zákon



Ak dráha obopína k prúdov, použijeme princíp superpozície

$$\oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_{\Gamma} \left(\sum_k \vec{B}_k \right) \cdot d\vec{l} = \sum_k \int_{\Gamma} \vec{B}_k \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_k I_k$$

Magnetické pole buденé prúdom k

Ak ohnuté prsty určujú smer orientovanej krivky, potom prúdu ktorý tečie v smere vztýčeného prstu priradíme kladné znamienko a prúdu tečúcemu opačne záporné

aplikácie

APLIKÁCIE

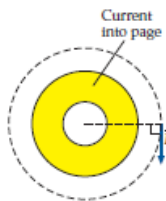


FIGURE 27-27

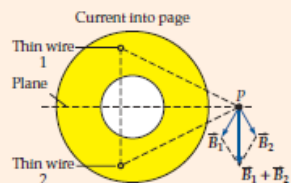


FIGURE 27-28

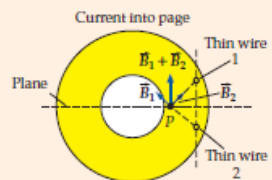
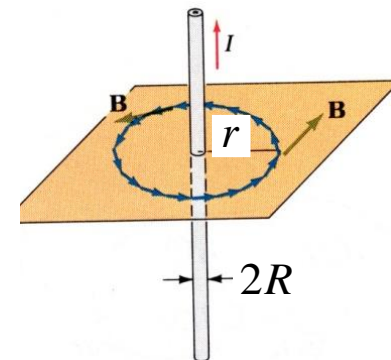


FIGURE 27-29

Magnetické pole vo vnútri a v okolí nekonečného vodiča.



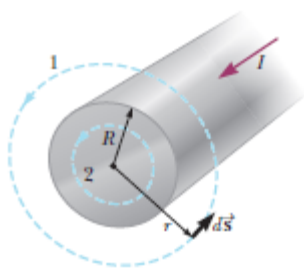
$r \leq R$

$j = \frac{I}{\pi R^2}$

$B = \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} \right) r.$

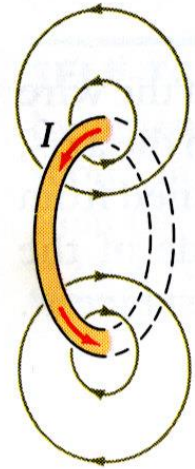
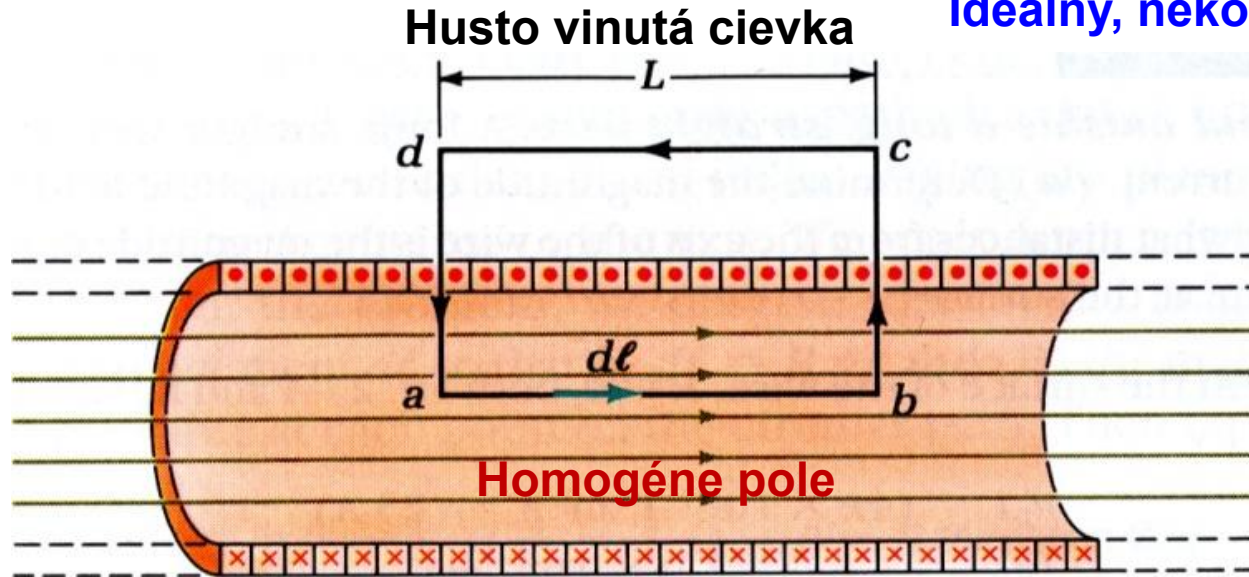
$r > R$

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$



Magnetické pole ideálneho solenoidu

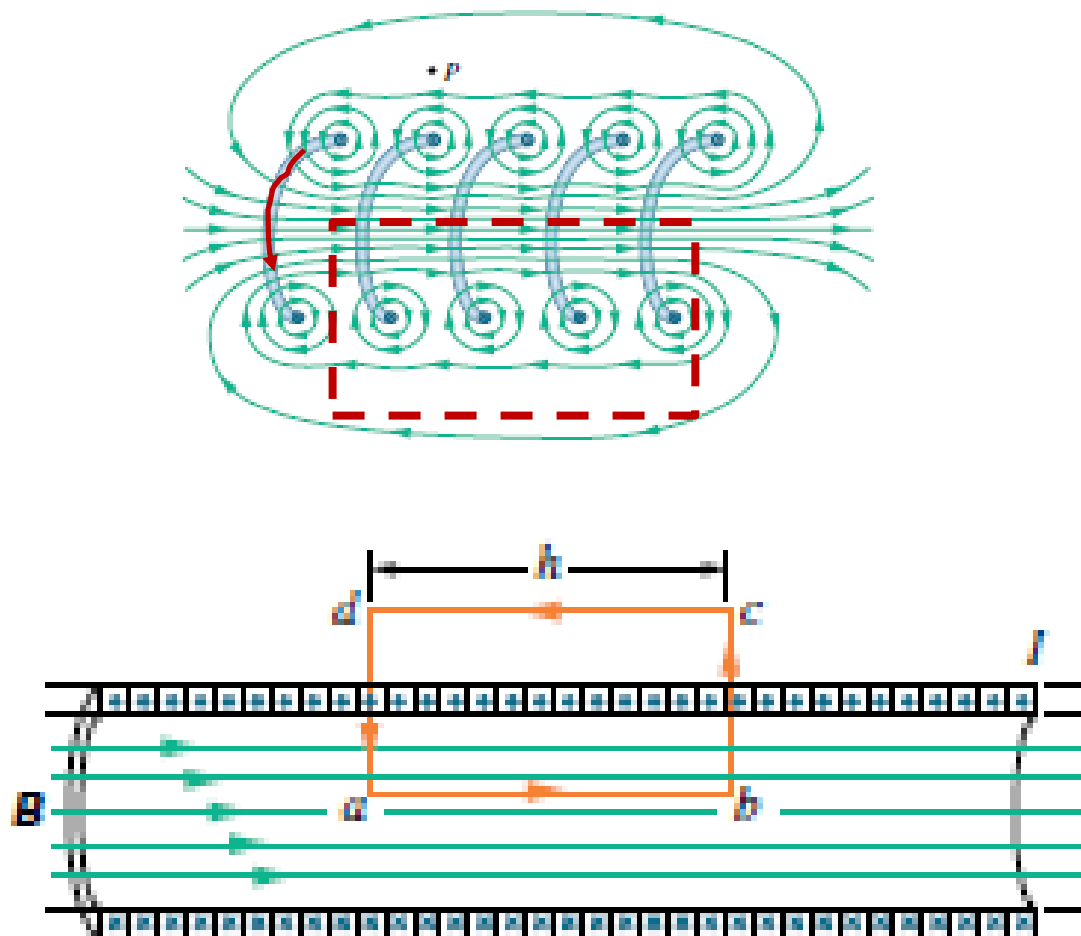
Ideálny, nekonečne dlhý solenoid



Mimo solenoidu $B = 0$

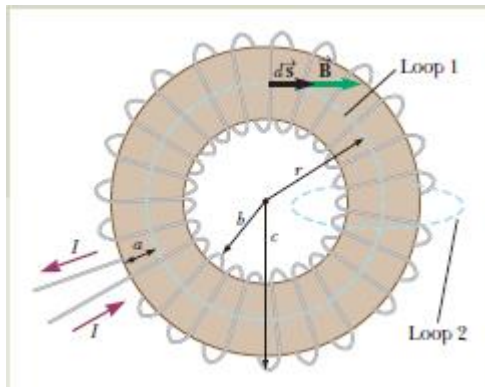
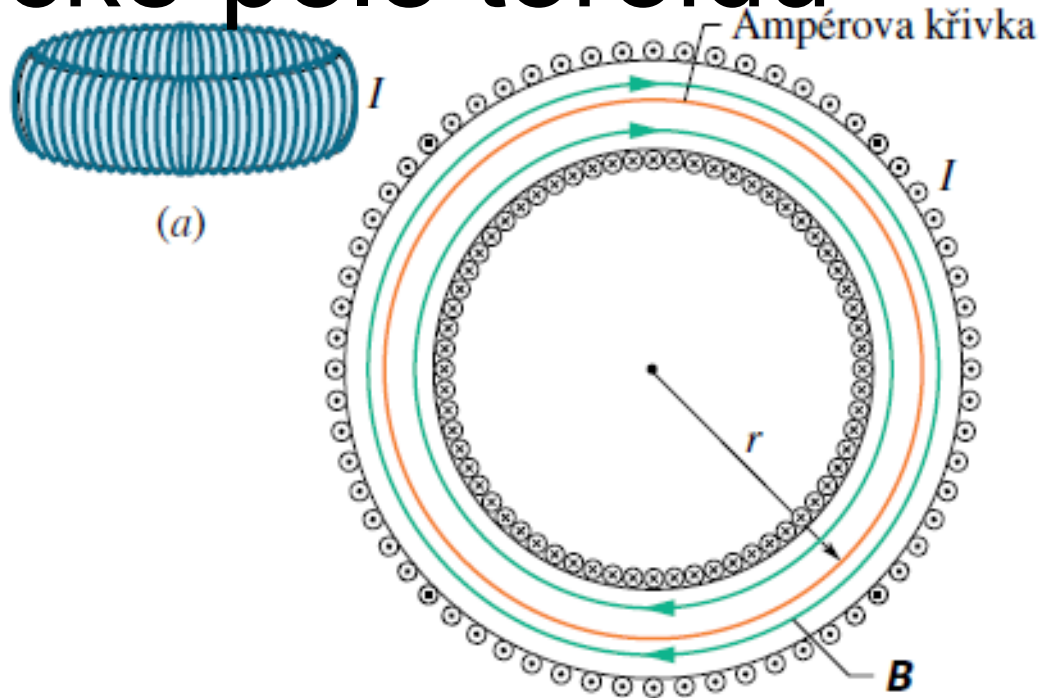
$$B = \mu_0 I n$$

n - počet závitov na jednotku dĺžky



Ideální solenoid – vektor B je prakticky rovnoběžný s osou solenoidu

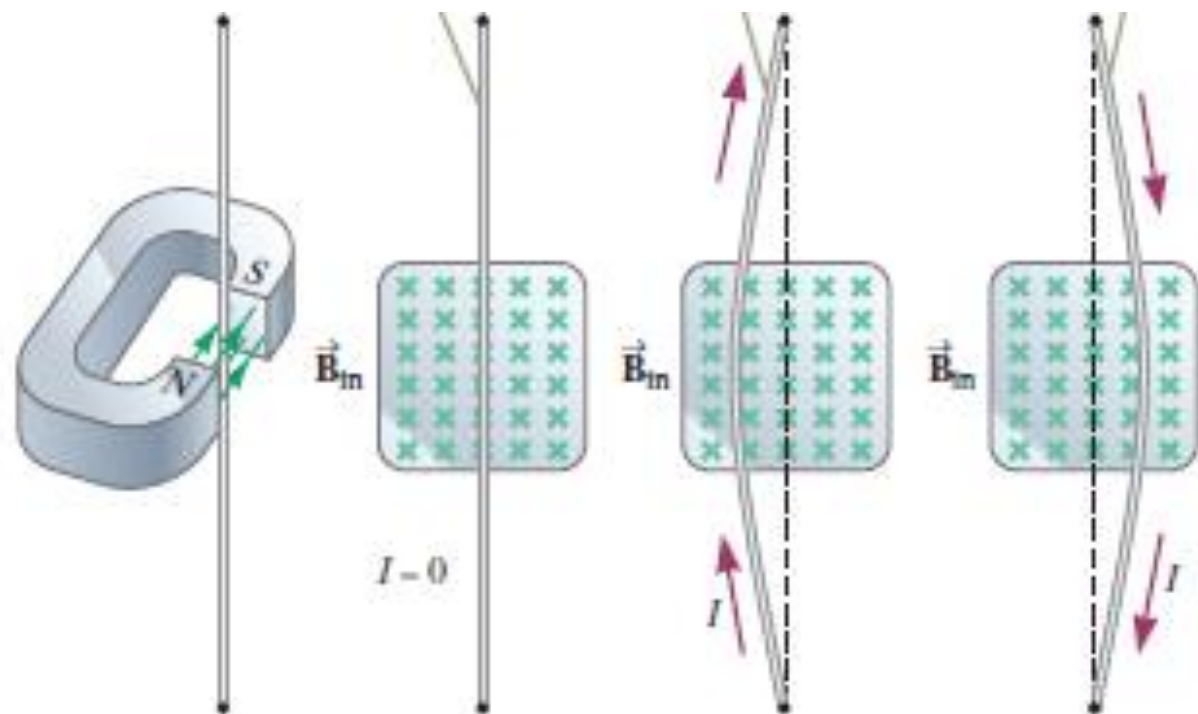
Magnetické pole toroidu



$$B 2\pi r = \mu_0 N I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$$

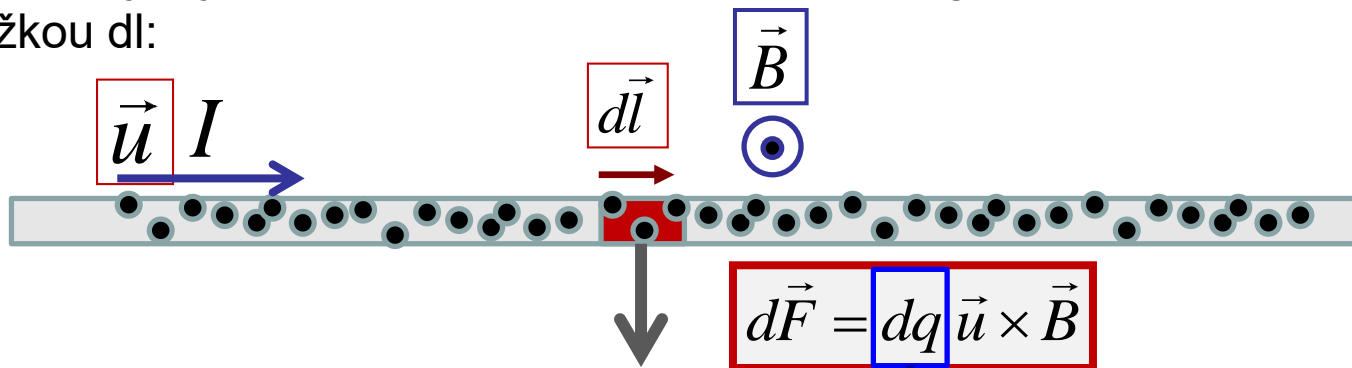
Magnetická indukcia vo vnútri toroidu nebude konštantná a magnetické pole ani v ideálnom toroide nebude homogénne. Na rozdiel od solenoidu konečnej dĺžky v toroide nemáme žiadne okrajové efekty.

SILA PÔSOBIACA NA PRÚDOVODIČ NACHÁDZAJÚCI SA V MAGNETICKOM POLI



Ampérová sila

Vodičom sa nachádza v magnetickom poli s indukciou \vec{B} , tečie ním prúd I , driftová rýchlosť nábojov je \vec{u} . Určíme silu, ktorou pôsobí magnetické pole na element s dĺžkou $d\vec{l}$:



Koľko pohybujúceho sa náboja dq je na úseku $d\vec{l}$? Toľko, koľko (vytečie) za čas $dt = d\vec{l}/u$



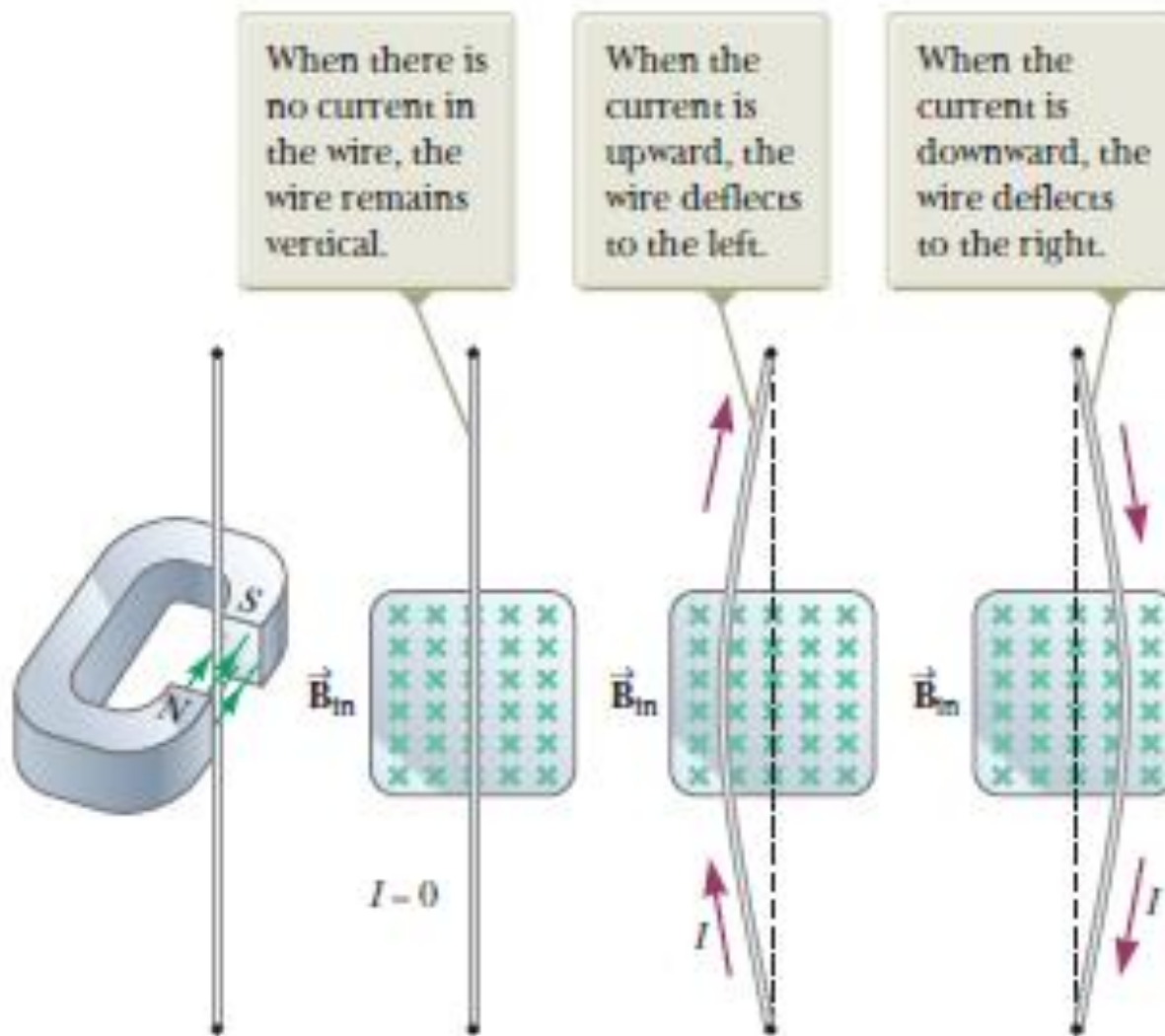
Koľko času potrebujeme na „vyprázdnie“ pôvodného priestoru $d\vec{l} = \vec{u}dt$

Koľko náboja preteklo /vyteklo/ z tejto oblasti ? $dq = Idt$

Aká sila teda pôsobí na tento element $d\vec{l}$?

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

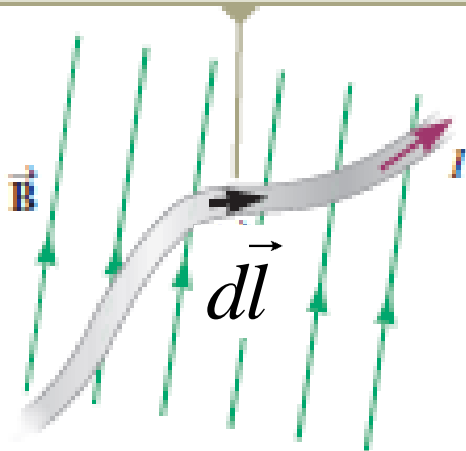
$$d\vec{F} = dq \vec{u} \times \vec{B} = I dt \vec{u} \times \vec{B} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$



ROVINNÝ VODIČ: —

$$\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

The magnetic force on any segment $d\vec{s}$ is $I d\vec{s} \times \vec{B}$ and is directed out of the page.

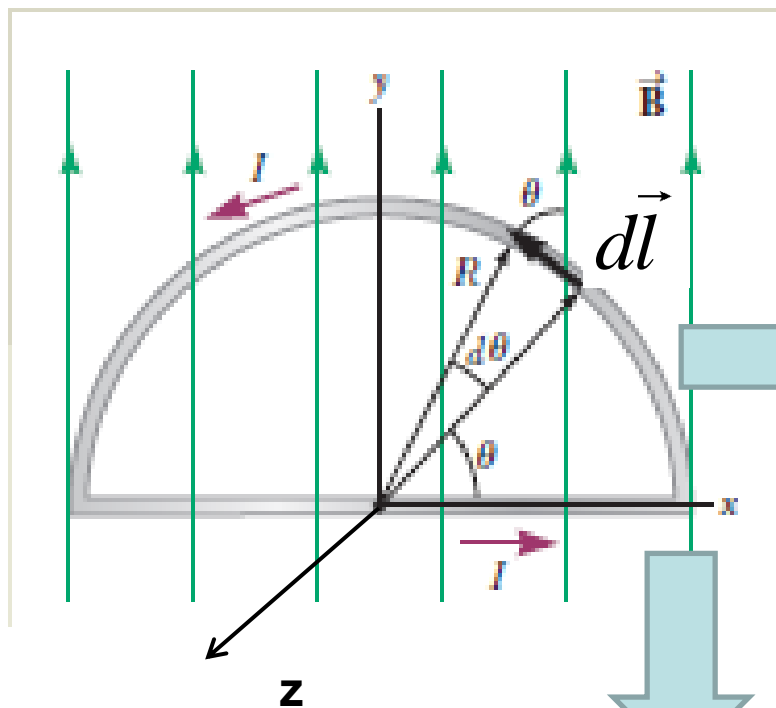


Rôzny tvar

Integrácia elementárnych síl



$$\vec{F} = \int_a^b I d\vec{l} \times \vec{B}$$

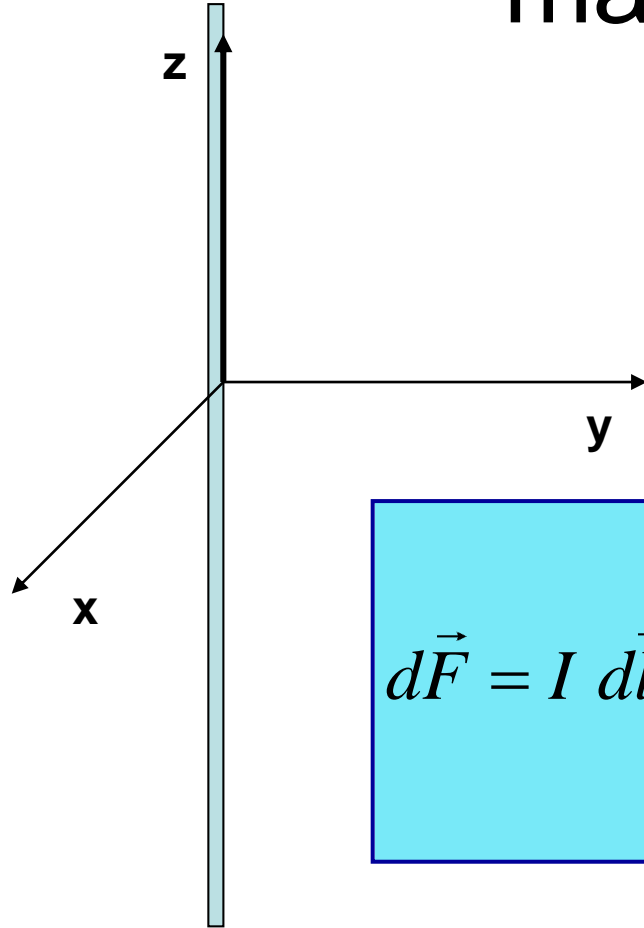


Vektoru treba dodať smer a orientáciu

$$\vec{F}_2 = \int I d\vec{l} \times \vec{B} = -\int I dl B \sin \theta \vec{k} = \left[-\int I R B \sin \theta d\theta \right] \vec{k} = -2IRB\vec{k}$$

$$\vec{F}_1 = \int I d\vec{l} \times \vec{B} = \int I d\vec{l} \times \vec{B} = I 2RB\vec{k}$$

Sila pôsobiaca na jednotku dĺžky prúdovodiča v homogénom magnetickom poli



$$\vec{B} = [0, 1, 1] \quad T$$

$$d\vec{l} = dl \vec{k}$$

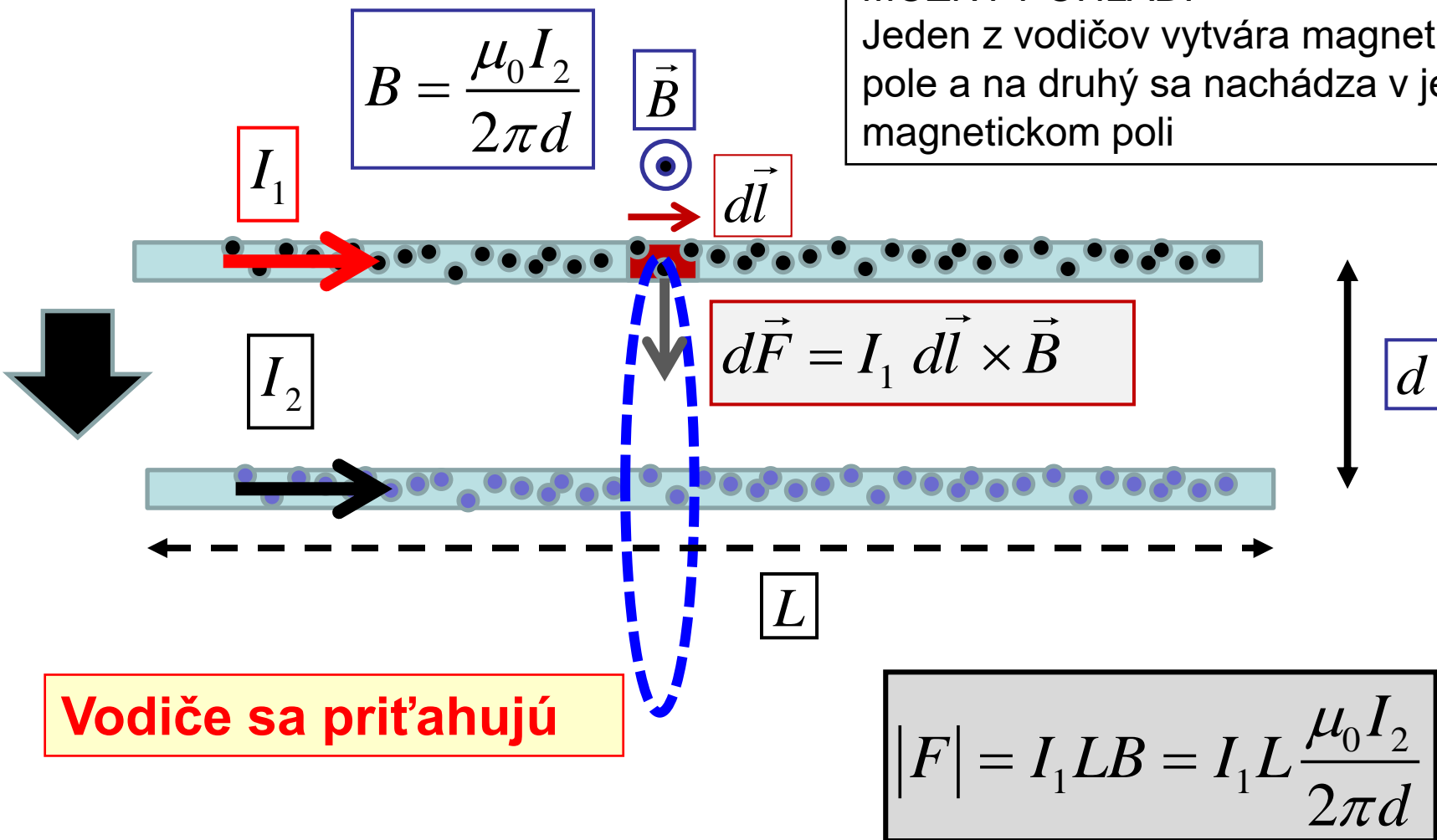
$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} = I \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} dl = I [-\vec{i}] dl \quad N$$

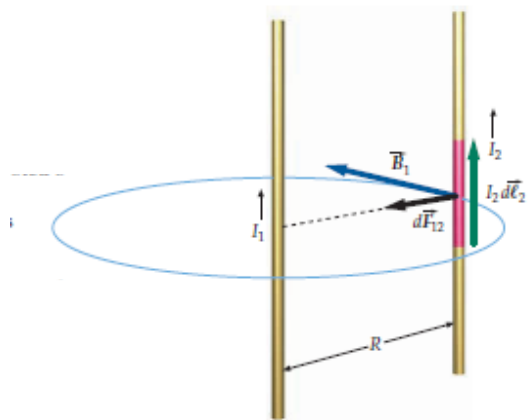
vodič

Silové pôsobenie dvoch rovnobežných vodičov

MOŽNÝ POHĽAD:

Jeden z vodičov vytvára magnetické pole a na druhý sa nachádza v jeho magnetickom poli





Silové pôsobenie dvoch rovnobežných vodičov

$$B = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$



MOŽNÝ POHĽAD:

Jeden z vodičov vytvára magnetické pole a na druhý sa nachádza v jeho magnetickom poli

I_1

$d\vec{l}$

$$d\vec{F} = I_1 d\vec{l} \times \vec{B}$$

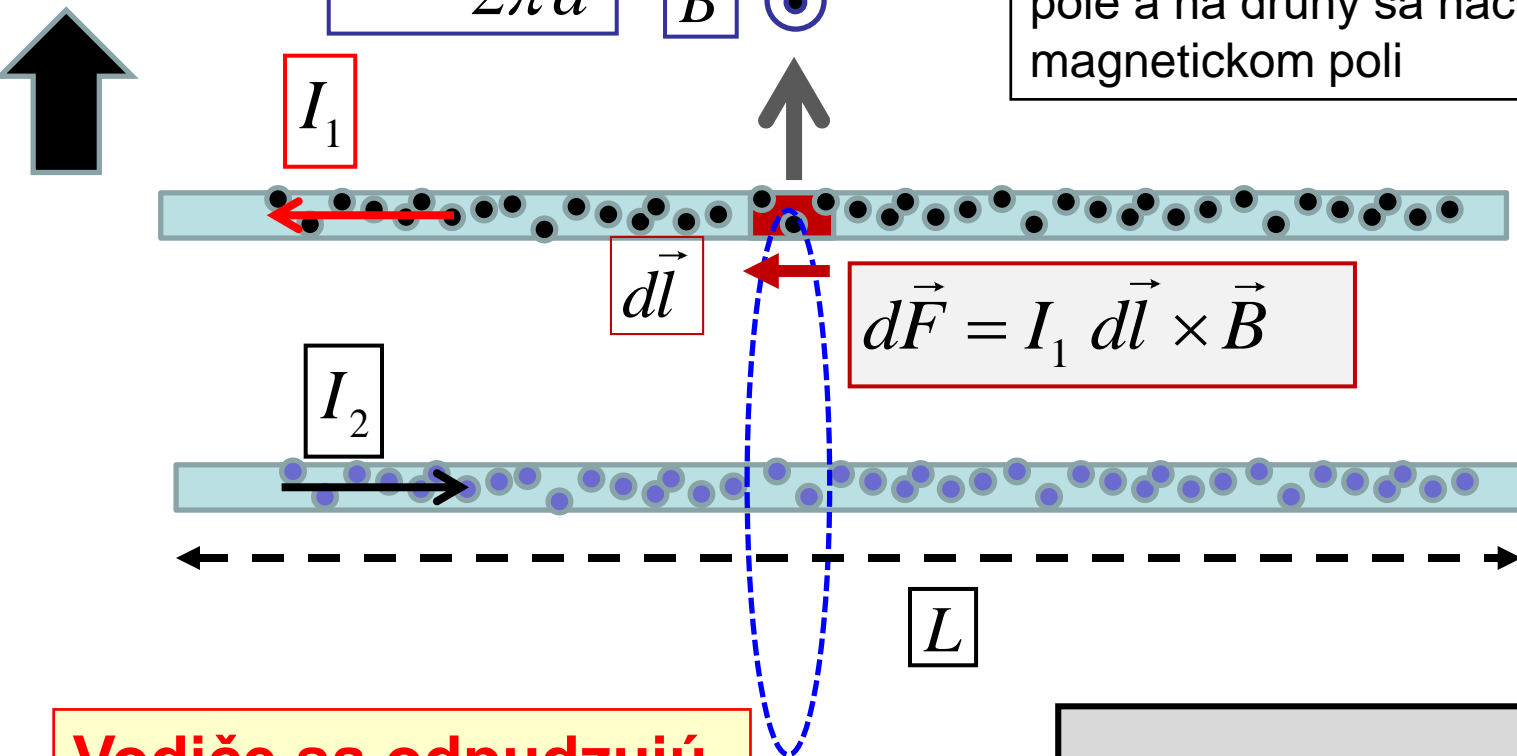
I_2

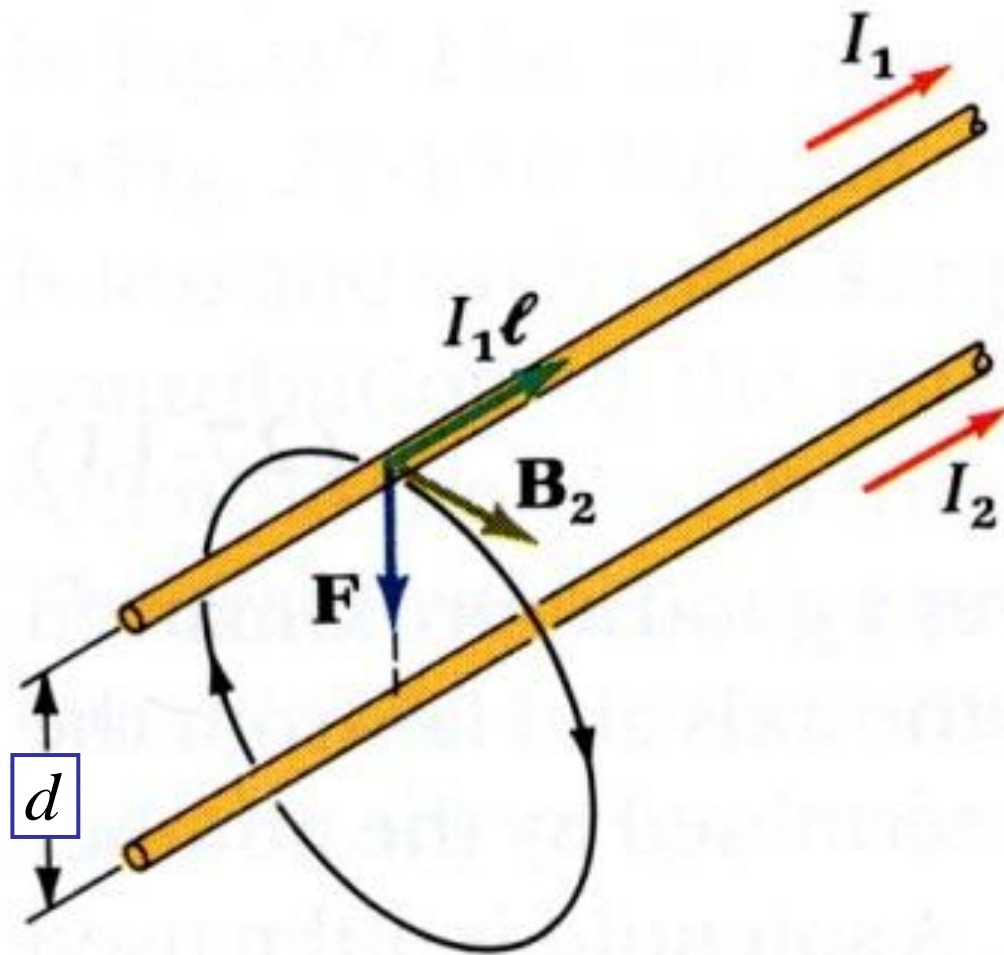
d

L

Vodiče sa odpudzujú

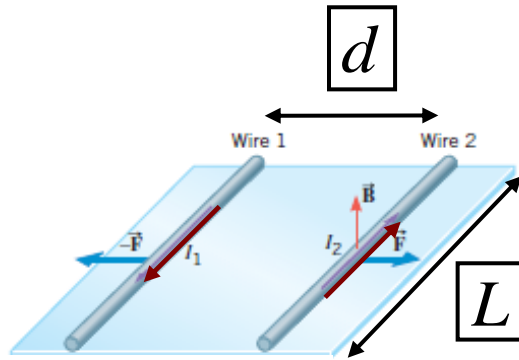
$$|F| = I_1 L B = I_1 L \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$



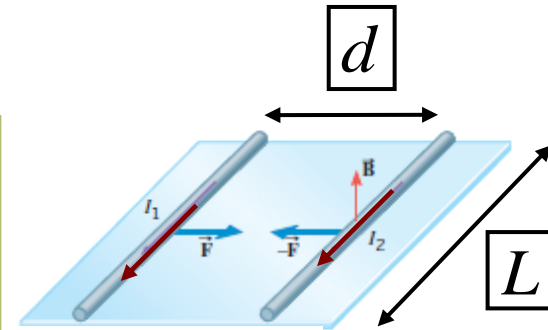


Dva rovnobežné vodiče

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



odpuďzovanie



príťahovanie

Dva rovnobežné vodiče, ktorými pretekajú súhlasne orientované prúdy sa príťahujú, ak nimi prechádzajú opačne orientované prúdy, potom sa odpudzujú

$$F = \frac{\mu_0 L I_1 I_2}{2\pi d}$$

Definícia ampéra

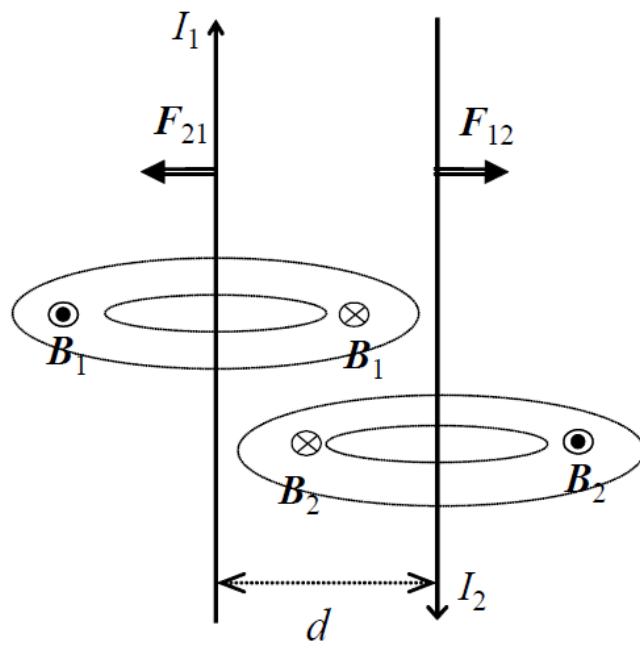
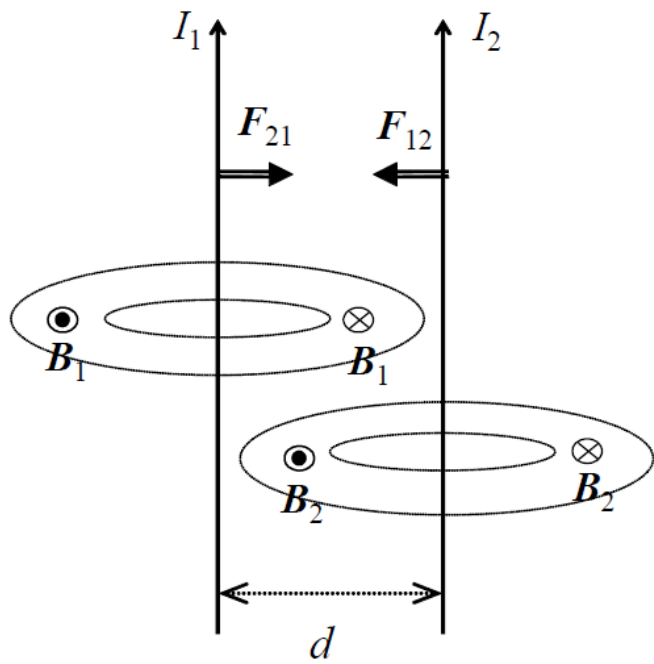
$$I_1 = I_2 = I \Rightarrow F = \frac{\mu_0 L I^2}{2\pi d}$$

Vypočítajme teda silu pôsobiacu na 1 m dĺžky v prípade že paralelnými vodičmi tečie rovnaký prúd 1 A. Po dosadení hodnoty dostaneme

$$F = 2 \times 10^{-7} \text{ N}$$

Definícia Ampéra v sústave SI:

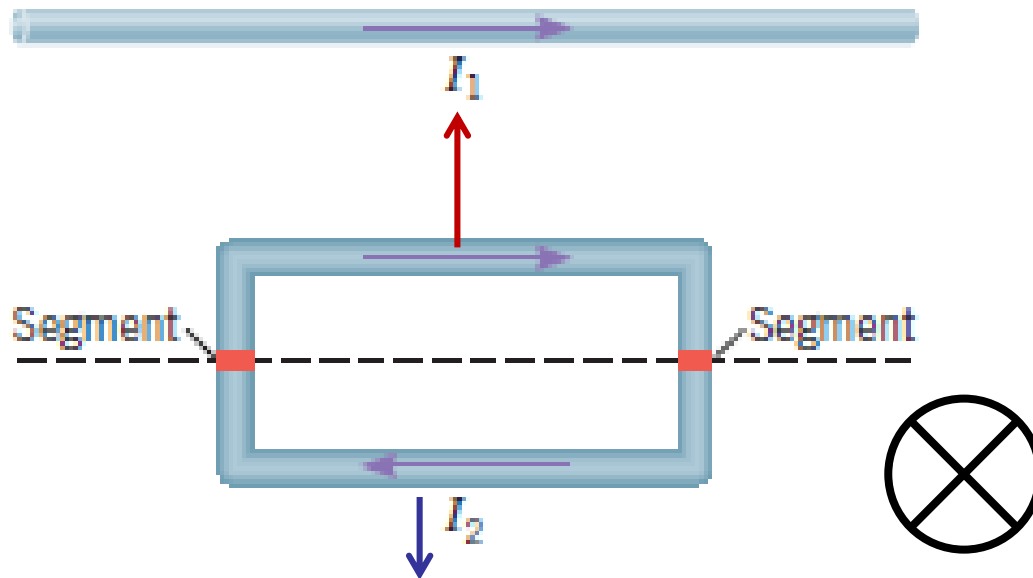
Dlhými priamymi paralelnými vodičmi vo vzdialenosti 1 m vo vákuu preteká prúd 1 A ak vyvolá medzi nimi silu $2 \times 10^{-7} \text{ N}$ na 1 m dĺžky.



Určte, či závit sa bude priťahovať k vodiču ale odpudzovať .

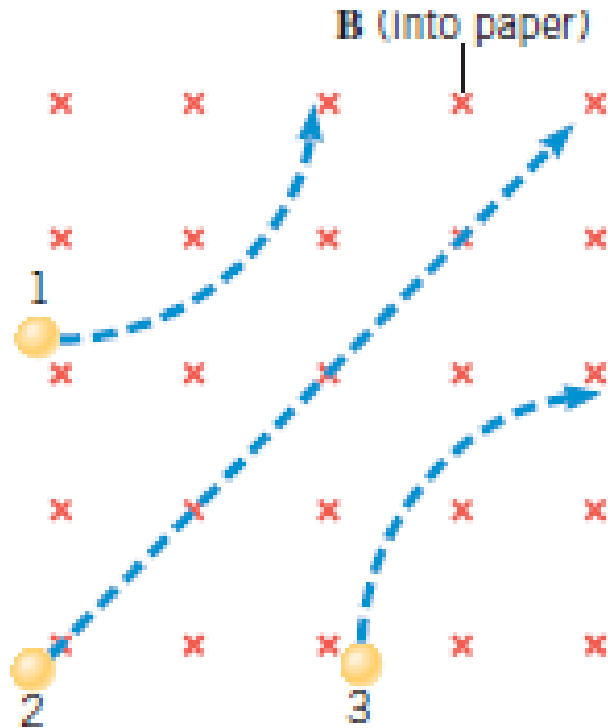
$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$F = \frac{\mu_0 L I_1 I_2}{2\pi d}$$



$$\vec{B}$$

Na obrázku sú zachytené trajektórie častíc, určte ich náboj -znamienko



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