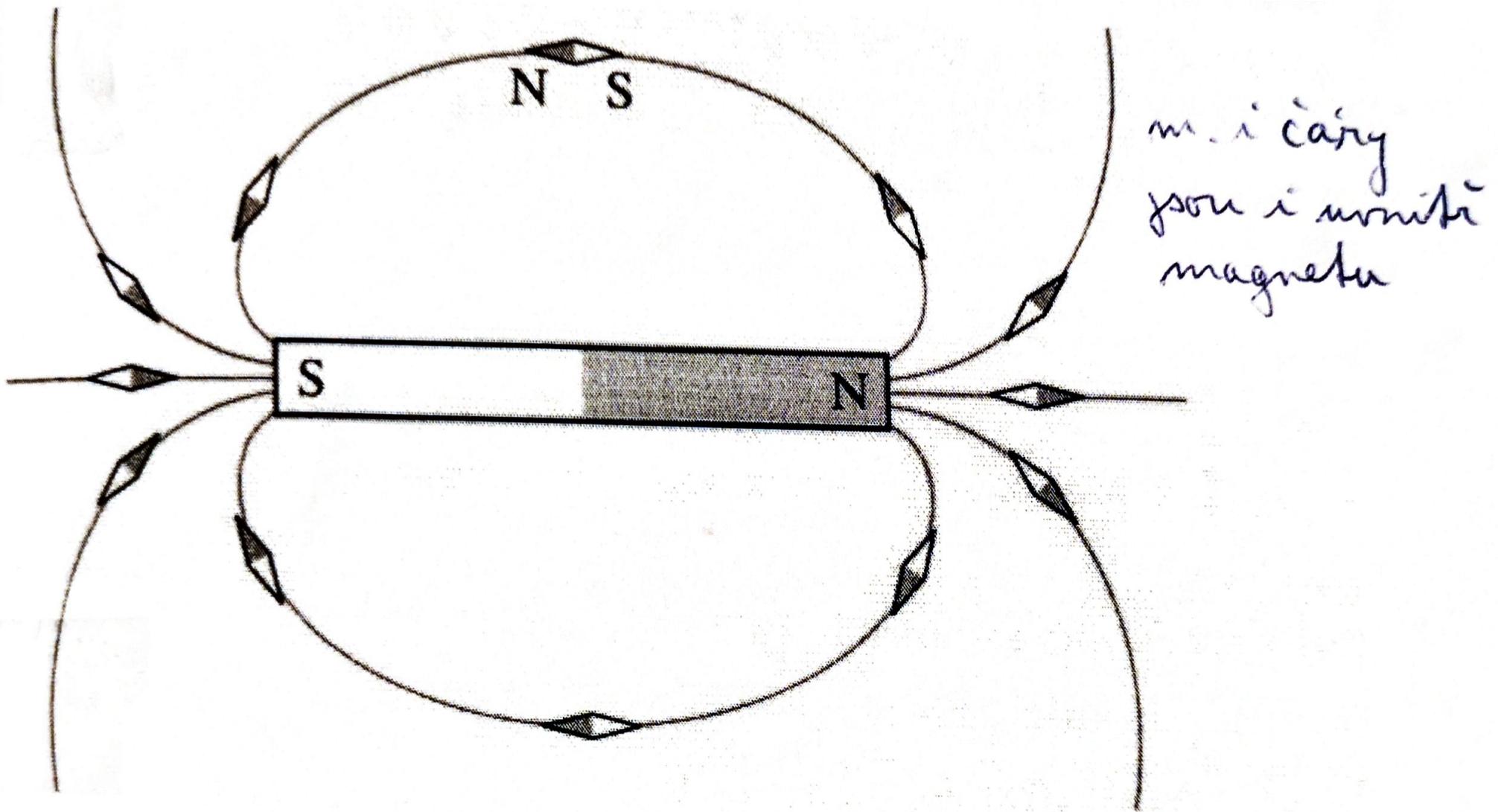
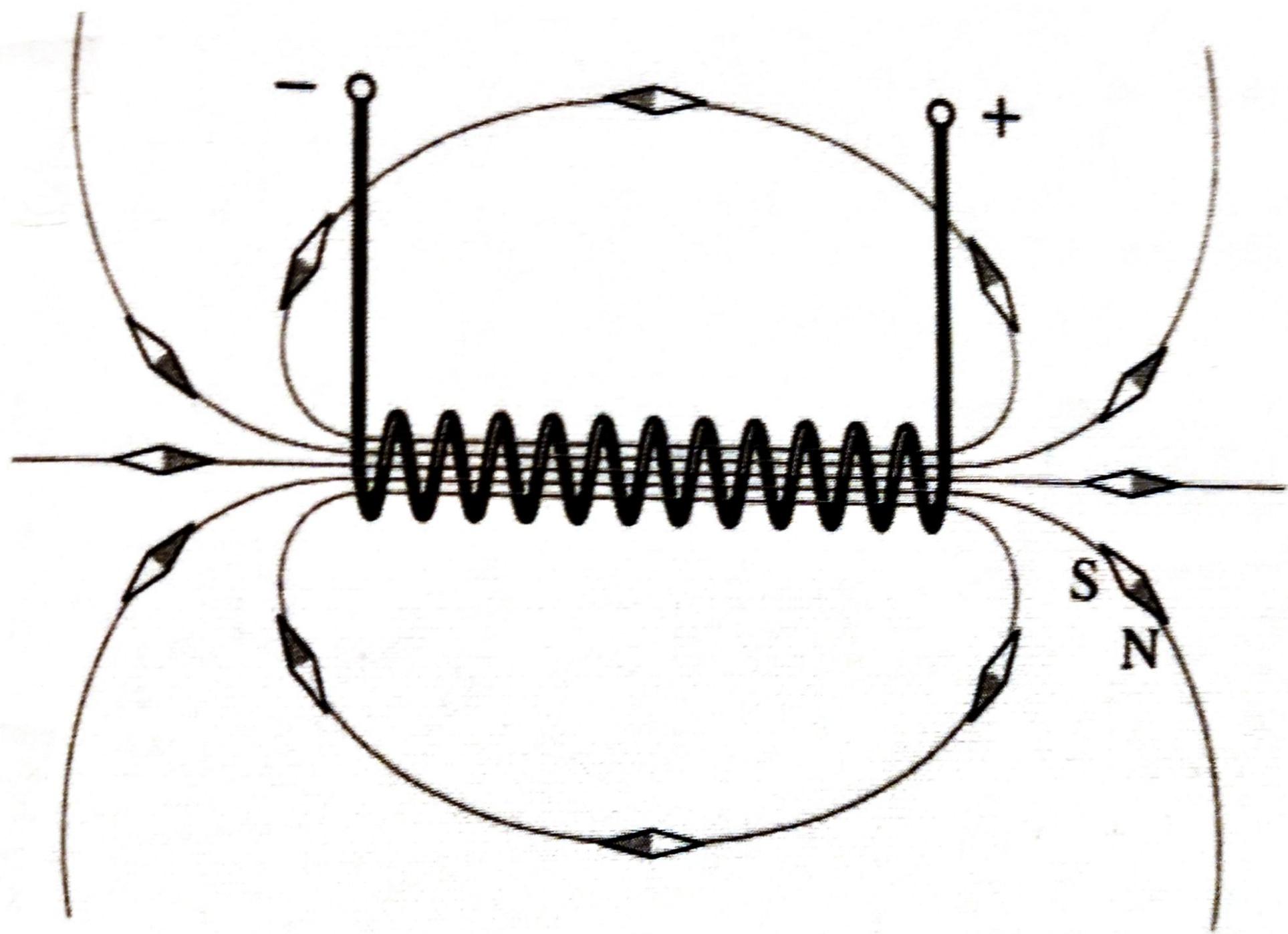


## → STACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE

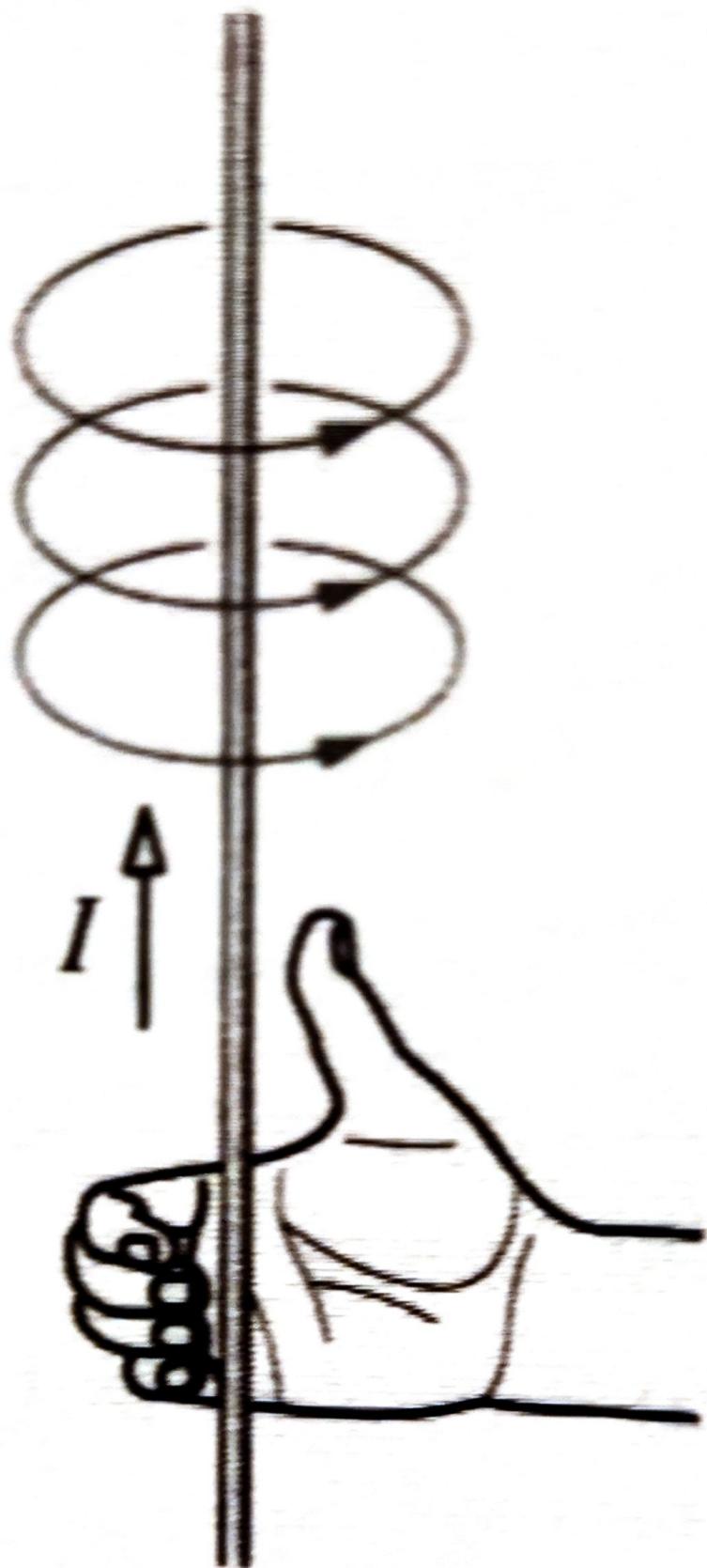
- je neměnné
- v obou permanentních magnetů
- v obou vodičů s proudem - cíva, průmý vodič
- Magnetické indukční čáry → natorný směr prostředního pole na magnet
  - prostorové, orientované čáry, které znázorňují m. pole
  - směr od N pólu k S pólu
- u cívky je podobné pole jako u magnetu
  - směr čar rovni směru proudu
- Magnetické pole přímého vodiče s proudem
  - čáry mají tvoru indukčních kružnic na rovině
  - dolní & vodiči a jejich střed je v místě průchodu vodiče kout rovinou
  - čáry jsou na ravninách po celé délce vodiče
    - ⇒ vzniká z nich válec
- Amperovo pravidlo pravé ruky pro průmý vodič
  - určujeme podle něj směr čar
  - marnacíme - li uchopení vodiče dr. pravé ruky dok. že natorný pole ukazuje dohodnutý směr proudu ( $\oplus \rightarrow \ominus$ ), pak prstěná prsty marnací směr m. i. čar.



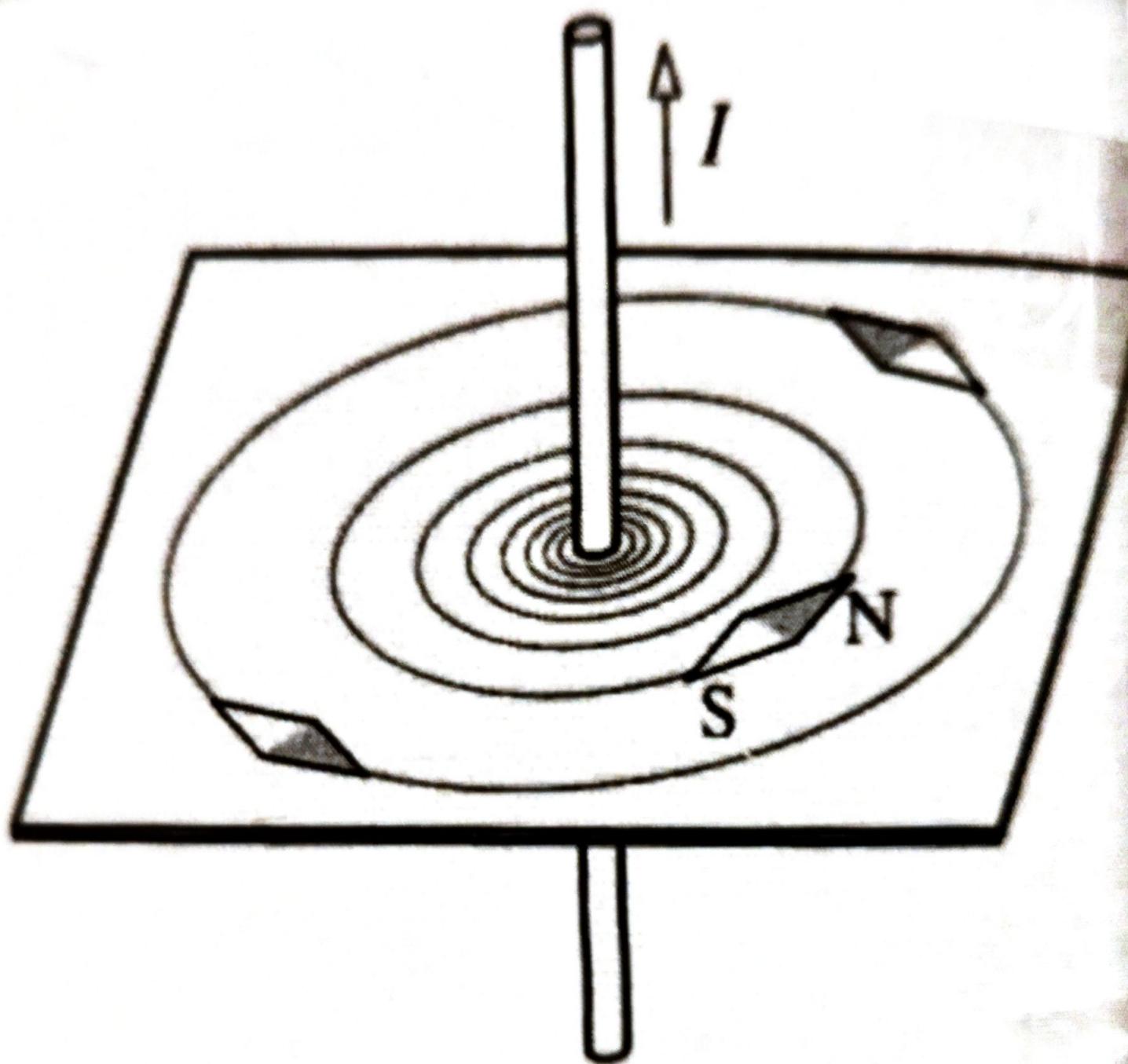
7-1 Magnetické pole tyčového magnetu



7-2 Magnetické pole cívky s proudem



7-5 K Ampèrovu pravidlu pravé ruky



7-3 Magnetické pole přímého vodiče s proudem

→ Magnetická síla působící na vodič s proudem -  $\vec{F}_m$

→ Edyž vodičem neprocházejí proud → je v poli magnetickém

→ Edyž vodičem procházejí proud → působí na něj  $\vec{F}_m$

→ Homogenní m. pole ⇒ rovnoběžné čáry

⊗ vodič, kterým prochází proud do návratny z letky řípu

⊗  mářesny z hrot řípu

⇒ podle APPR vnitřním směrem m. i. čar vodič s proudem

→ na jedné straně se čáry sdádají ⇒ ↑ hustota čar

→ na druhé straně jdou čáry proti sobě ⇒ ↓ hustota čar

→ na vodiči působí magnetická síla a pohybuje se k oblasti s hustoty do oblasti s ↓ hustotou

→ magnetická indukce -  $\vec{B}$

→ v homogeném m. poli je velikost  $B$  všude stejná

→ směr  $\vec{B}$ : směr řípingu v daném bodě magnetického pole k m. indukční čáře.

→ v homogeném poli je směr  $\vec{B}$  souhlasný se směrem čar

$$[B]: B = \frac{F_m}{I \cdot l} \Rightarrow [B] = \frac{N}{A \cdot m} = T = \text{Tesla}$$

→ magnetická indukce charakterizuje silu působení pole na vodič s proudem - něco jako intenzita elektropole

→ velikost  $F_m$

→  $l$  = délka, kterou vodič rozahuje do nejšíšího pole = aktuální d.

• vodič rovnoběžný s i. čarami → nepůsobí na něj  $\vec{F}_m$

• vodič kolmý na i. čáry

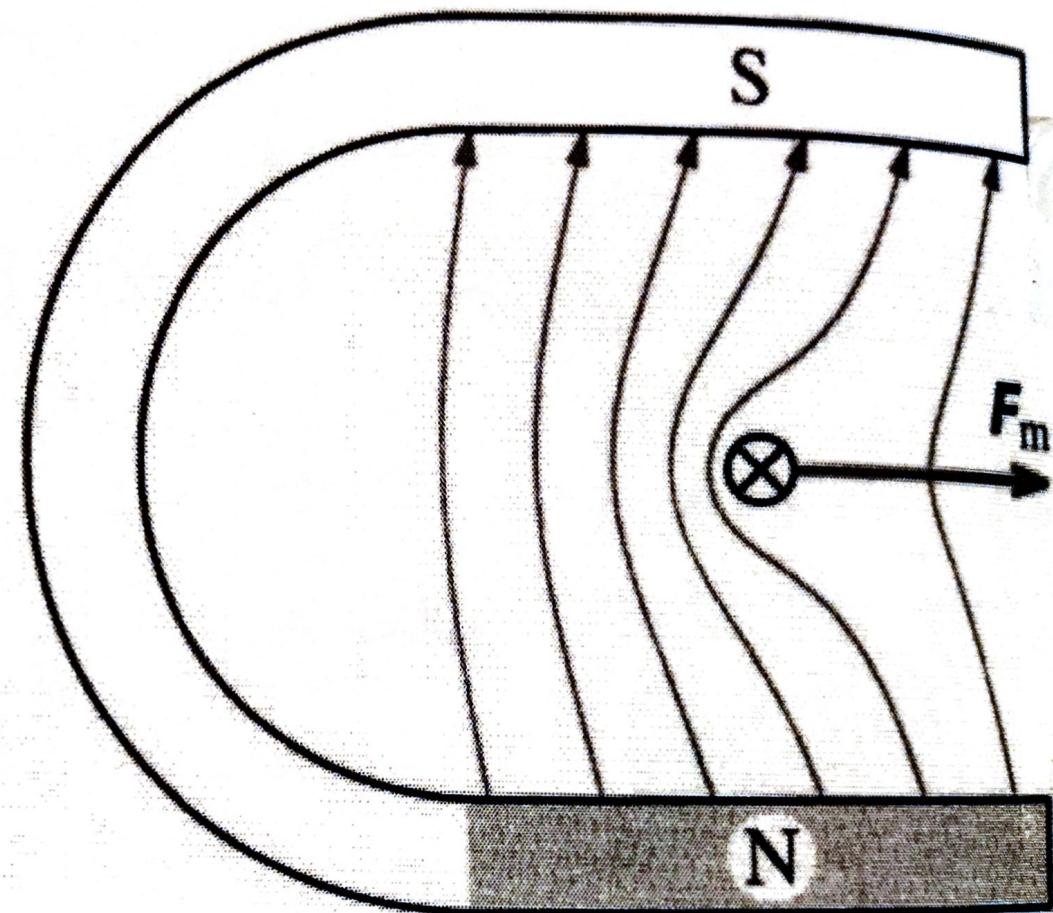
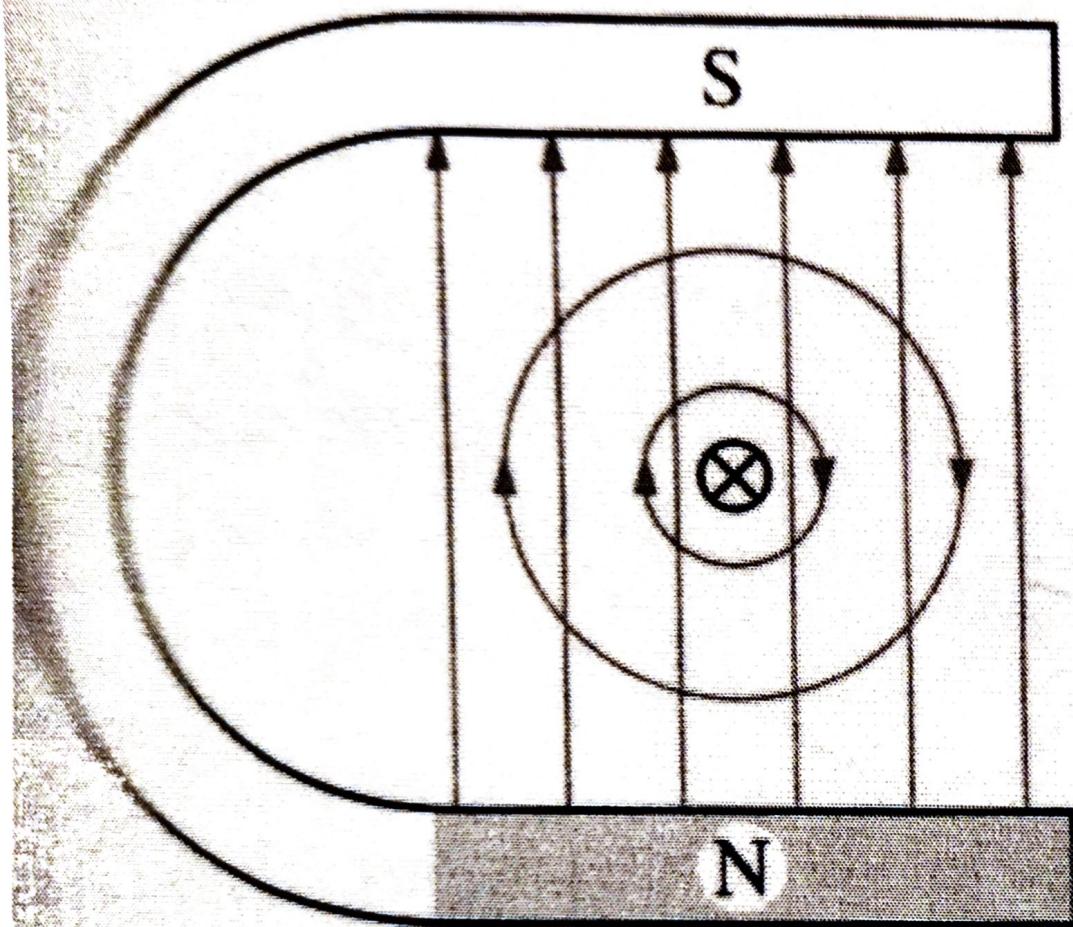
$$F_m = B \cdot I \cdot l$$

•  $l$  je úhel, který svírá vodič se směrem i. čar →  $l \in \langle 0; \pi \rangle$

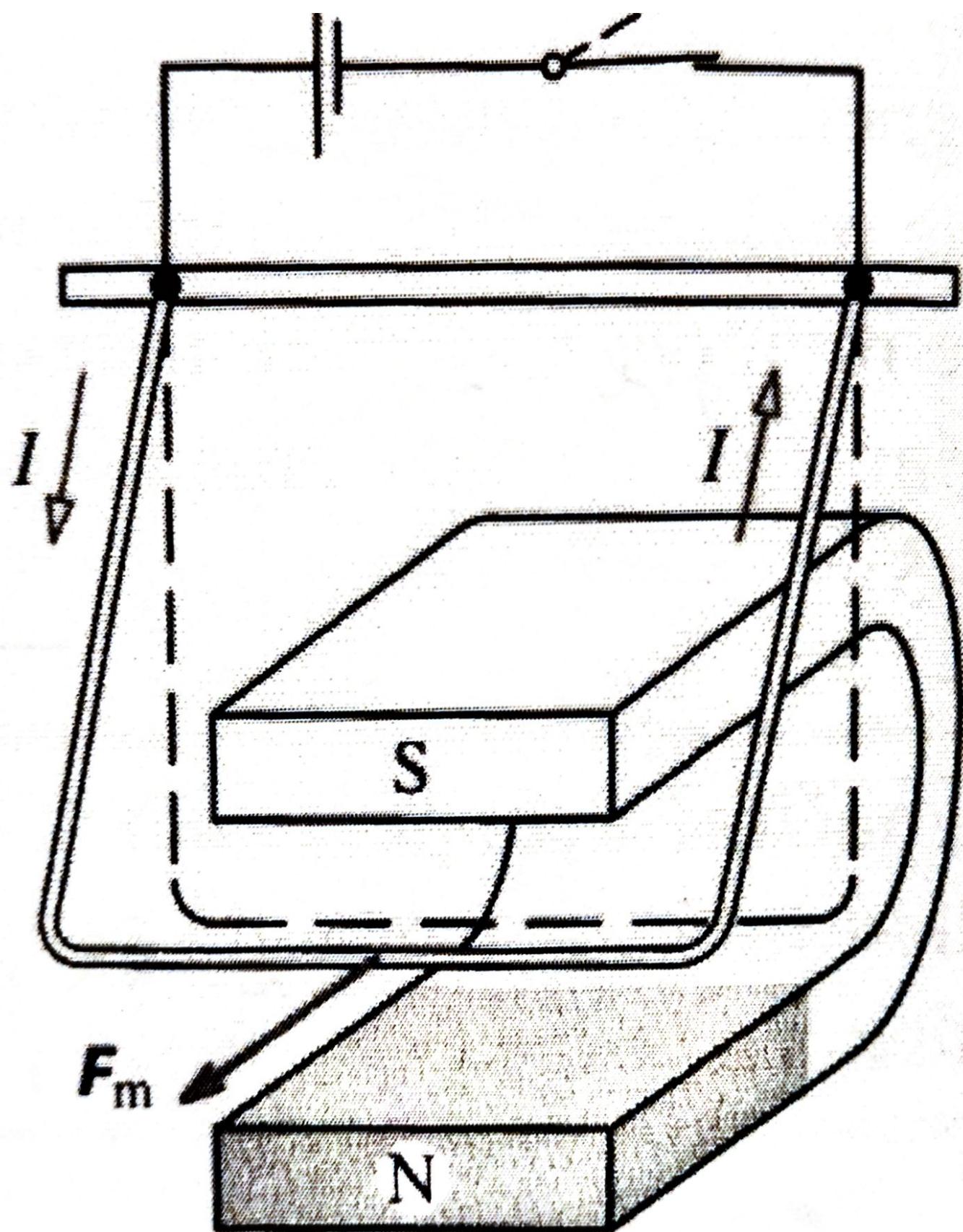
$$F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin(\alpha)$$



Ampérov  
zákon



■ Vzájemné působení magnetických polí magnetu a vodiče s proudem



7-7 Demonstrační magnetické síly

## → Směr $\vec{F}_m$

→ Flemingovo pravidlo levé ruky

- položíme - li levou rukou k ročici kol., aby prsty ukazovaly směr proudu a magnetické indukce čáry vstupovaly do dlaně pod úhlem  $\alpha$  ( $\alpha = 90^\circ \approx 90^\circ$  kol.)  
poté natáčený palec ukazuje směr  $\vec{F}_m$

## → Případové výkazy

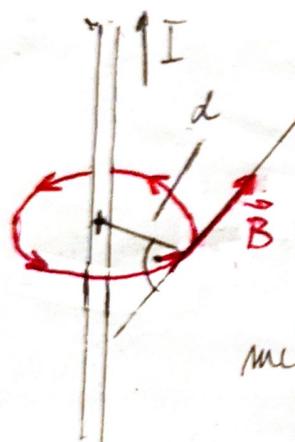
→ směr  $\vec{F}_m = \text{dolů} \rightarrow$  vodič se hání dolů

~~rovnoramenná  
paža~~  $F_m = F_G \Rightarrow B \cdot I \cdot l = m \cdot g \Rightarrow B = \frac{m \cdot g}{I \cdot l}$

~~případem  $F_m = F_G$~~

→ slovík k vývražení velikosti magnetické indukce

→ Magnetická indukce v očekávání výsledku s pravdou



$$B = \mu \cdot \frac{I}{2\pi \cdot d}$$

$d$  = vzdálenost daného bodu, ve kterém měříme velikost m. indukce od vodiče

$mí = \mu = \text{permeabilita prostředí}$

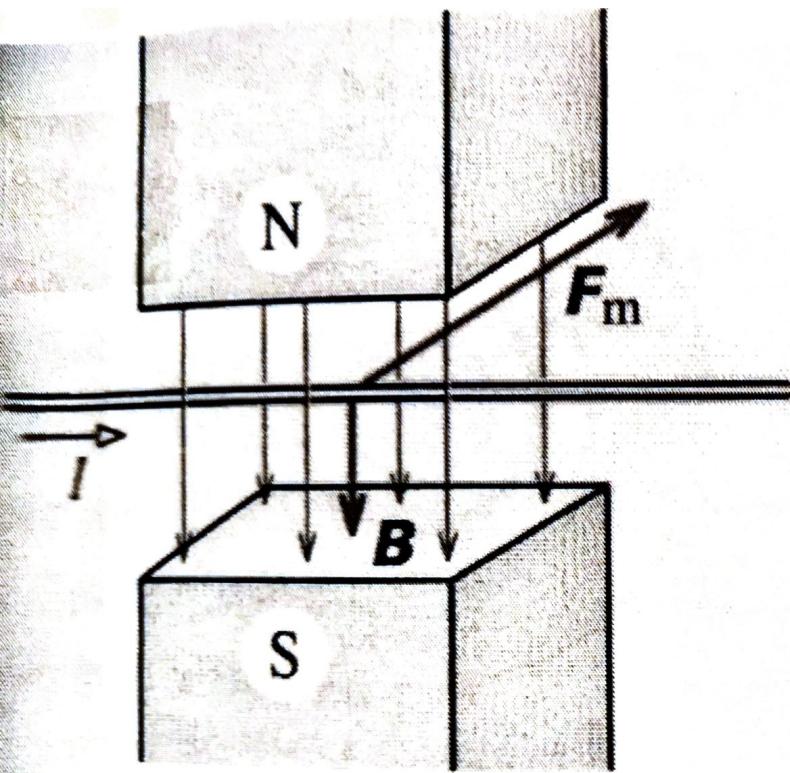
$$[\mu] = \frac{m \cdot \frac{N}{A \cdot m}}{A} = N \cdot A^{-2}$$

$\mu_0 = \text{permeabilita vačna} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$

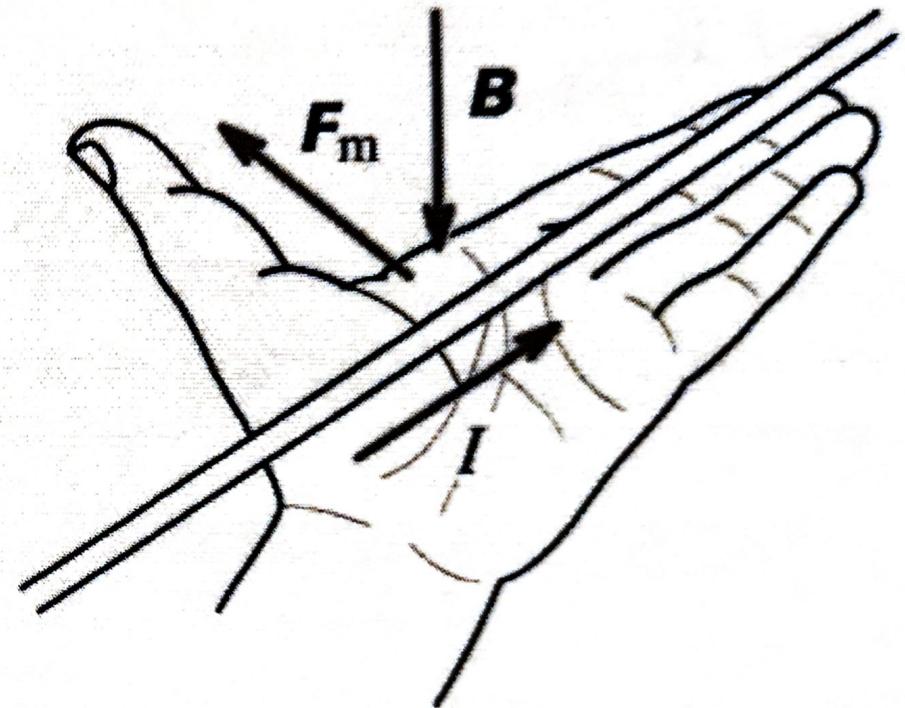
$\mu_r = \text{relativní permeabilita}$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

→ učíme se, že  $B$  v daném prostředí je větší nebo menší než ve vačnu



7-12 Magnetická síla, která působí  
vodič s proudem v magnetickém



7-13 K Flemingovu pravidlu levé  
ruký

## Krajemne' silove' pisebeni' 2 vodicu' s prondem

### a) souhlasny' smér pronda

→ vodicí s  $I_1$  → rdeoj m. pole a m. inducií  $\vec{B}_1$

→ do toho pole, do daného místa ( $\vec{B}_1$ ) vložím vodicí s  $I_2$

⇒ na tento vodicí pisebí  $\vec{F}_m$

→ smér  $\vec{F}_m$ : FPLR → k vodicí s  $I_1$  ⇒ pisebuje vodicí s  $I_2$

$$F_m = B_1 \cdot I_2 \cdot l = \mu \cdot \frac{I_1}{2\pi d} \cdot I_2 \cdot l = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$$

→ podud bych vložil vodicí s  $I_1$  do m. pole vodice s  $I_2$

$$F_m = B_2 \cdot I_1 \cdot l = \mu \cdot \frac{I_2}{2\pi \cdot d} \cdot I_1 \cdot l = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$$

⇒ vodice na sebe navzájem pisebí stejné velikými silami opačného směru

⇒ procházi-li vodicí prony souhlasneho směru, pak se vodice pisebují silou o velikosti  $F_m = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$

⇒ procházi-li vodicí prony opačného směru, pak se vodice odpouzí silou o velikosti  $F_m = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$

⇒ definice jednoho Amperu

- 1A je stálý prond, který při prichodu dveřma rovnoběžnými, neonečné dlouhými vodicí rozděbatelného průvodu, umístěnými ve vakuum ve vzdálenosti 1 m mezi nimi vysvola silu o velikosti  $2 \cdot 10^{-7} N$  na 1 m jejich délky

$$\Rightarrow I_1 = I_2 = 1A + vakuum \Rightarrow \mu = 4\pi \cdot 10^{-7} N \cdot A^{-2}$$

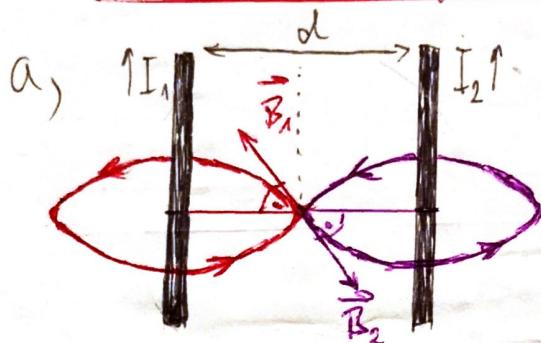
$d = 1m \wedge l = 1m$  - je o  $F_m$  na 1 metr délky

$$\Rightarrow F_m = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{i \cdot i \cdot 1}{1} = \underline{\underline{2 \cdot 10^{-7} N}}$$

$\rightarrow$  příklad

$$\left. \begin{array}{l} d = 5\text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2}\text{ m} \\ I_1 = I_2 = I = 10\text{ A} \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N} \cdot \text{A}^{-2} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{velikost } B \text{ uprostřed pole} \\ \text{meri símeček rodiči} \end{array}$$

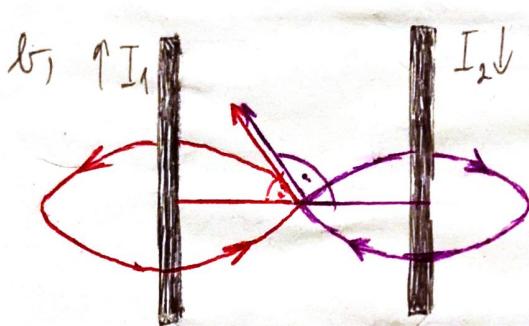
$B = ?$  a, prony mají stejný směr b, různý směr



$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi \cdot \frac{d}{2}} = \mu_0 \frac{I}{\pi d}$$

$$B_2 = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi \cdot \frac{d}{2}} = \mu_0 \frac{I}{\pi d}$$

$$\Rightarrow B = |B_1 - B_2| \wedge B_1 = B_2 \Rightarrow \underline{\underline{B = 0}}$$



$$B_1 = B_2 = \mu_0 \cdot \frac{I}{\pi d}$$

$$\Rightarrow B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \frac{2I}{d}$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi} \cdot \frac{20}{5 \cdot 10^{-2}} = \underline{\underline{16 \cdot 10^{-5}\text{ T} = 0,16\text{ mT}}}$$

$\rightarrow$  Magnetické pole cívky

$\rightarrow$  cívka je rodič v jednotce závislosti  $\rightarrow N =$  počet rávitek  
 $l =$  délka cívky (ne rodiče)

$\rightarrow$  procházejí cívku proud, pole je v jejím okolí m. pole, které je závislé na indukci čarami

$\rightarrow$  uvnitř cívky je homogenní m. pole a směr magnetické indukce je stejný jako směr m. i. čar

$\rightarrow$  směr m. i. čar - APPR pro cívku s proudem

$\rightarrow$  načerpání - li uchopení cívky do pravé ruky takže palce směřují dohodnutý směr proudu cívky, pole mazacího polohy mazuje směr m. i. čar a severní pol cívky

$\rightarrow$  solenoid

$\rightarrow$  velmi dlouhá cívka s mnoha hustotou závitů

$\Rightarrow$  m. indukce vnitřního jádra

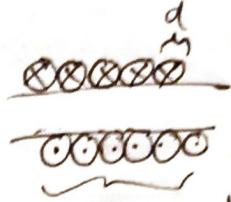
$\rightarrow$  homogenní pole  $\Rightarrow$  vnitřek stejný

$$B = \mu \cdot I \cdot \frac{N}{l}$$

- prostředí vnitřního jádra = jádro jádra  
 - proud  
 - hustota ráviny = průstřek / délka

$\Rightarrow$  počet meri ráviny nejsou měry

$$l = d \cdot N \quad \wedge \quad d = \text{průměr vodice}$$



$\Rightarrow$  částice s nařízením v homogeném m. poli

$\rightarrow$  do h. m. pole vloženého kolmo k m. i. čára v přímý vodici správnou

$\Rightarrow$  m. pole na něj působí m. silou  $F_m = B \cdot I \cdot l$

$\rightarrow$  el. proud = uspořádání pohyb volných částic s nařízením

$$I = \frac{Q}{t} \quad \wedge \quad Q = N \cdot e \quad \wedge \quad e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$\rightarrow$  elektrony mají rychlosť v a procházejí aktivní délkou l

$$\Rightarrow l = 1 \cdot N \Rightarrow l = \frac{l}{N} \Rightarrow I = \frac{N \cdot e}{l \cdot N} = \frac{N \cdot e \cdot N}{l}$$

$$\Rightarrow F_m = B \cdot N \cdot e \cdot N$$

$\rightarrow$  velikost magnetické síly, která v homogeném m. poli s m. i.  $B$  působí na elektron, když se pohybuje rychlosťí

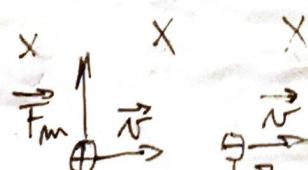
v solnu k m. indukčním čáram je

$$F_m = B \cdot e \cdot v \quad (N=1)$$

$\rightarrow$  směr  $\vec{F}_m$  působící na částici s nařízením

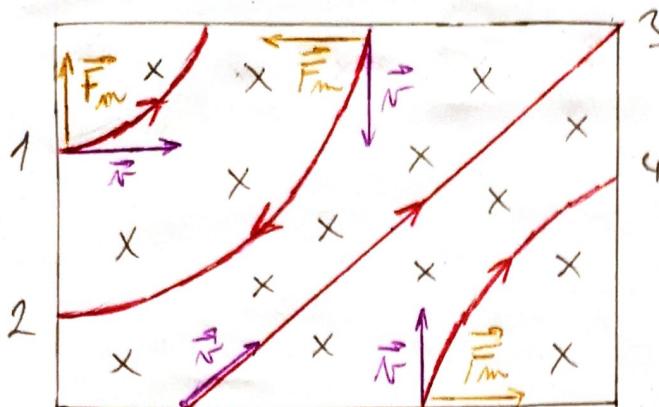
•  $\oplus$  částice - určuje směr proudu  $\Rightarrow$  FPLR

•  $\ominus$  částice - opačný směr  $\Rightarrow$  místní barevné pravou



$\rightarrow B$  směřuje do maledru

## → zakřivené trajektorie částice s mábojem



1, ⊕ FPLR

2, ⊖ FPPR

3, bez máboje - nepisobí  
na to  $F_m$

4, ⊖ FPPR

$\times \rightarrow$  magnetická indukce pole směřuje do měřesny

$\rightarrow \vec{F}_m \perp \vec{N} \wedge \vec{F}_m$  směřuje do středu

$$\Rightarrow \vec{F}_m = \vec{F}_d \Rightarrow B \cdot e \cdot v = M \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$M \cdot B \cdot e = m \cdot v$$

poloměr zakřivení  
trajektorie  $\leftarrow \underline{\underline{R = \frac{m \cdot v}{B \cdot e}}}$

## → Magnetické vlastnosti látek

$\rightarrow$  druh látky ovlivňuje velikost  $\vec{B}$

$\Rightarrow$  resahuje nebo zcela odstraňuje m. pole k látky

$$\begin{aligned} \mu &= \text{permabilita prostředí} \\ \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2} \end{aligned} \quad \left. \right\} \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$\rightarrow$  ovlivňuje vlastnostmi atomů příslušného prostředí  $\rightarrow$  elektrony v atomech mají stroje m. pole

### • diamagnetické atomy

$\rightarrow$  magnetická pole elektronů se sblížují  
 $\Rightarrow$  zcela se vymínají

$\Rightarrow$  pole k látky se neposílí

### • paramagnetické atomy

$\rightarrow$  magnetická pole elektronů se vymínají jen částečně  
 $\Rightarrow$  pole k látky se trochu posílí

## → 3 druhy látek

### • Diamagnetické látky

- r diamagnetických atomů - klatr, měď, voda  
 $\mu_r$  je nepatrně menší než 1

### • Paramagnetické látky

- r paramagnetických atomů - vzduch, hliník...

$\mu_r$  je nepatrně větší než 1

### • Feromagnetické látky = Ferity

- r paramagnetických atomů - druhy ocelí

- feromagnetismus = vlastnost krystalické struktury

↳ r  $\delta$  nebo  $\infty$  složenství by to bylo P látka

→ pro žádoucí F látku existuje CURIOVA seplota  
při jejímž přesročení se rámeček chová jako P

$\mu_r \in \{10^2, 10^5\}$  výrazně různá m. pole

## → Elektromagnet

- cívka s feromagnetickým jádrem

- když se rámuje proud, tak vznikne vnitřní pole

→ jádro se magnetizuje → pole se hodně posílí

- magnetizováný materiál přestane být r. m. poli

- magneticky měkká látka - přestane být magnet

- magneticky tvrdá látka - zůstane magnetem

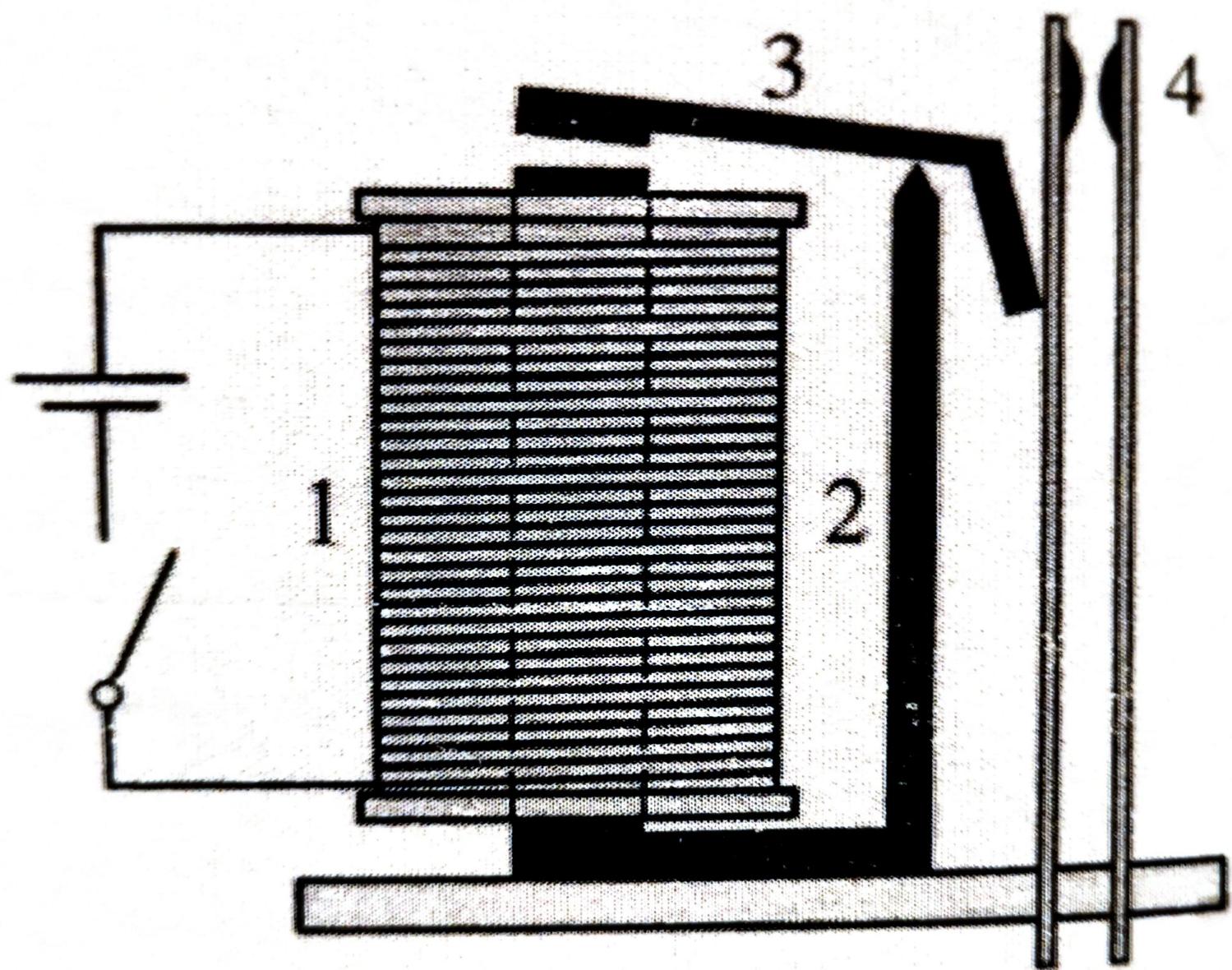
## → Elektromagnetické relé

- obrázek: 1, cívka 2, jádro z m. m. látky 3, kolka r.  
4, pružné kontakty

- rámuje proud ⇒ jádro se magnetizuje ⇒ přitáhne proud

⇒ sepran se pružné kontakty - ty rámuji nejdříji jiný obvod

- stojí malý proud pro ta cívku a ty kontakty teda  
nepřímo sepran nejdříji velký/neberflečný obvod



a)

7-29 Elektromagnetické relé

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- 1) Přímý vodič prochází v délce 15 cm homogenním magnetickým polem tak, že osa vodiče svírá s vektorem magnetické indukce úhel  $60^\circ$ . Magnetické pole o velikosti magnetické indukce 60 mT působí na vodič, kterým prochází stejnosměrný elektrický proud, silou 3,12 mN. Vypočítejte velikost elektrického proudu ve vodiči.

$$(I = \frac{F}{Bl \sin \alpha} \doteq 0,4 \text{ mA} (= 400 \text{ mA}))$$

- 2) Dva rovnoběžné vodiče, kterými protékají stejnosměrné elektrické proudy 15 A nesouhlasných směrů, mají společnou délku 125 cm a jejich vzájemná vzdálenost je 1 mm. Vodiče na sebe navzájem působí odpudivou magnetickou silou 0,056 N. Vypočítejte hodnotu relativní permeability prostředí obklopujícího vodiče.

$$(\mu_r = \frac{2\pi dF}{\mu_0 I^2 l} \doteq 0,996)$$

- 3) Válcová cívka tvořená 12 000 závity má délku 15 cm. Jak velký stejnosměrný elektrický proud musí procházet cívkou, aby magnetická indukce pole v ose její dutiny měla hodnotu 50 mT, je-li cívka ve vakuu

a) bez jádra,

b) s jádrem z materiálu, který má za daných podmínek hodnotu relativní permeability 495?

$$(I = \frac{B}{\mu} \cdot \frac{l}{N} \Rightarrow \text{a)} I \doteq 0,497 \text{ A} (= 497 \text{ mA}); \text{ b)} I \doteq 1 \cdot 10^{-3} \text{ A} (= 1 \text{ mA}))$$

- 4) Dvě rovnoběžné vodivé desky jsou od sebe vzdáleny 1 cm. Elektrickým napětím o velikosti 30 V je v prostoru mezi deskami vytvořeno homogenní elektrické pole. Do prostoru mezi desky je rychlosť  $625 \text{ km.s}^{-1}$  vypuštěn elektron ve směru rovnoběžném s deskami. Vypočítejte velikost magnetické indukce homogenního magnetického pole, které udrží pohyb elektronu mezi deskami po přímočaré trajektorii.

$$(B = \frac{U}{d \cdot v} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ T} (= 4,8 \text{ mT}))$$

- 5) V homogenním magnetickém poli o magnetické indukci 2 T působí na vodič délky 20 cm, který je kolmý k magnetickým indukčním čárám, síla o velikosti 1,2 N. Vypočítej velikost elektrického proudu ve vodiči.

- 6) Na přímý vodič délky 50 cm, kterým prochází proud 2 A, působí v magnetickém poli o magnetické indukci 0,1 T síla 0,05 N. Jaký úhel svírá vodič se směrem magnetických indukčních čar?

- 7) Jakou silou na sebe navzájem působí ve vakuu dva rovnoběžné vodiče, jimiž procházejí stejně velké proudy 300 A, jestliže jsou od sebe vzdáleny 5 cm a jejich délka je 50 m?

- 8) Vodič délky 30 cm, kterým prochází proud 20 A, je umístěn v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci 0,4 T tak, že s indukčními čárami svírá úhel  $30^\circ$ . Urči práci, která se vykoná při přemístění vodiče o 25 cm ve směru kolmém k indukčním čáram i ke směru proudu.

# MAGNETICKÉ POLE

1)  $l = 15 \text{ cm}$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$B = 60 \text{ mT}$$

$$\underline{F_m = 3,12 \text{ mN}}$$

$$\underline{I = ?}$$

$$F_m = B \cdot I \cdot l \sin\alpha \Rightarrow I = \frac{F_m}{B l \sin\alpha}$$

$$I = \frac{312 \cdot 10^{-5}}{6 \cdot 10^2 \cdot 15 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} A = \frac{624}{6 \cdot 150 \sqrt{3}} A \doteq \underline{400 \text{ mA}}$$

2)  $I_1 = I_2 = 15 \text{ A}$

$$l = 1,25 \text{ m}$$

$$d = 10^{-3} \text{ m}$$

$$\underline{F_m = 56 \cdot 10^{-3} \text{ N}}$$

$$\underline{\mu_n = ?}$$

$$F_m = D_1 I_2 l = \frac{\mu}{2\pi d} I_1 I_2 l = \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi d} I_1 I_2 l$$

$$\Rightarrow \mu_n = \frac{2\pi d F_m}{\mu_0 I^2 l} = \frac{2\pi \cdot 10^{-3} \cdot 56 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 225 \cdot 1,25} = \\ = \frac{560}{2 \cdot 225 \cdot 1,25} = \frac{112 \cdot 5}{2,5 \cdot 45 \cdot 5} = \frac{224}{225} \doteq \underline{0,996}$$

3)  $N = 12000$

$$l = 15 \text{ cm}$$

$$\underline{B = 5 \cdot 10^{-2} \text{ T}}$$

$$B = I \mu \frac{N}{l} \Rightarrow I = \frac{B l}{N \mu_0 \mu_n}$$

$$\text{a)} \ I = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 15 \cdot 10^{-2}}{12 \cdot 10^3 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} A = \frac{75}{48\pi} A \doteq \underline{497 \text{ mA}}$$

$$\begin{array}{l} \text{a), } \mu = \mu_0 \\ \text{b), } \mu_n = 405 \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{I = ?} \\ \text{I = ?} \end{array} \right.$$

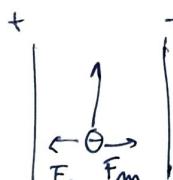
$$\text{b), } I = \frac{I_a}{405} \doteq \underline{1 \text{ mA}}$$

4)  $d = 10^{-2} \text{ m}$

$$V = 30 \text{ V}$$

$$\underline{N = 625 \text{ turn/m}}$$

$$\underline{B = ?}$$



$$V = E \cdot d$$

$$F_m = F_e \quad (\vec{F}_{L2} = 0)$$

$$qE = q(\vec{v} \times \vec{B}) \rightarrow E = N \cdot B \Rightarrow \frac{V}{d} = N \cdot B$$

$$\Rightarrow B = \frac{V}{Nd} = \frac{30}{10^{-2} \cdot 625 \cdot 10^3} \text{ T} = \frac{3}{625} \text{ T} = \underline{4,8 \text{ mT}}$$

8)  $l = 0,3 \text{ m}$

$$I = 20 \text{ A}$$

$$B = 0,4 \text{ T}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$S = 0,25 \text{ m}$$

$$\underline{W = ?}$$



$$\text{směr fórmule} = \text{směr } \vec{F}_m$$

$$\Rightarrow W = F_m \cdot S = I \cdot B \cdot l \sin(\alpha) \cdot S$$

$$W = 20 \cdot 0,4 \cdot 0,3 \cdot 0,25 \cdot \frac{1}{2} J$$

$$W = 6 \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} J = \frac{6}{20} J = \underline{0,3 J}$$