

→ STACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE

→ je neměnné

→ v okolí permanentních magnetů

→ v okolí vodičů s proudem - cívka, přímý vodič

→ Magnetické indukční čáry ⇒ znázorňují směr působení pole na magnet

→ prostorové, orientované křivky, které znázorňují m. pole

→ směr od N pólu k S pólu

→ u cívky je podobné pole jako u magnetu

→ směr čar závisí na směru proudu

→ Magnetické pole přímého vodiče s proudem

→ čáry mají tvar indukčních křivek na rovině kolmé k vodiči a jejich střed je v místě průchodu vodiče touto rovinou

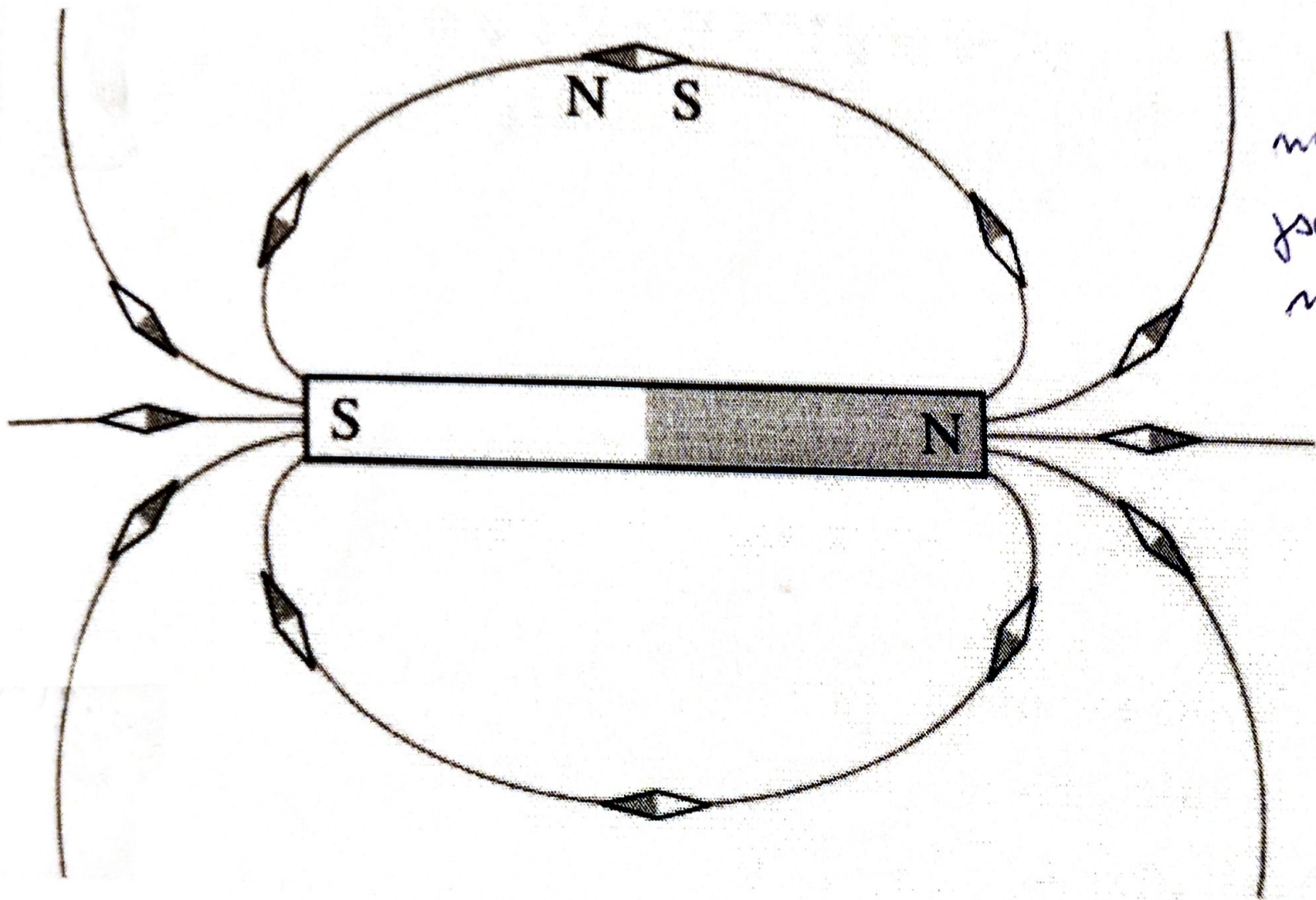
→ čáry jsou na rovinách po celé délce vodiče

⇒ vzniká z nich váleček

→ Ampérovovo pravidlo pravé ruky pro přímý vodič

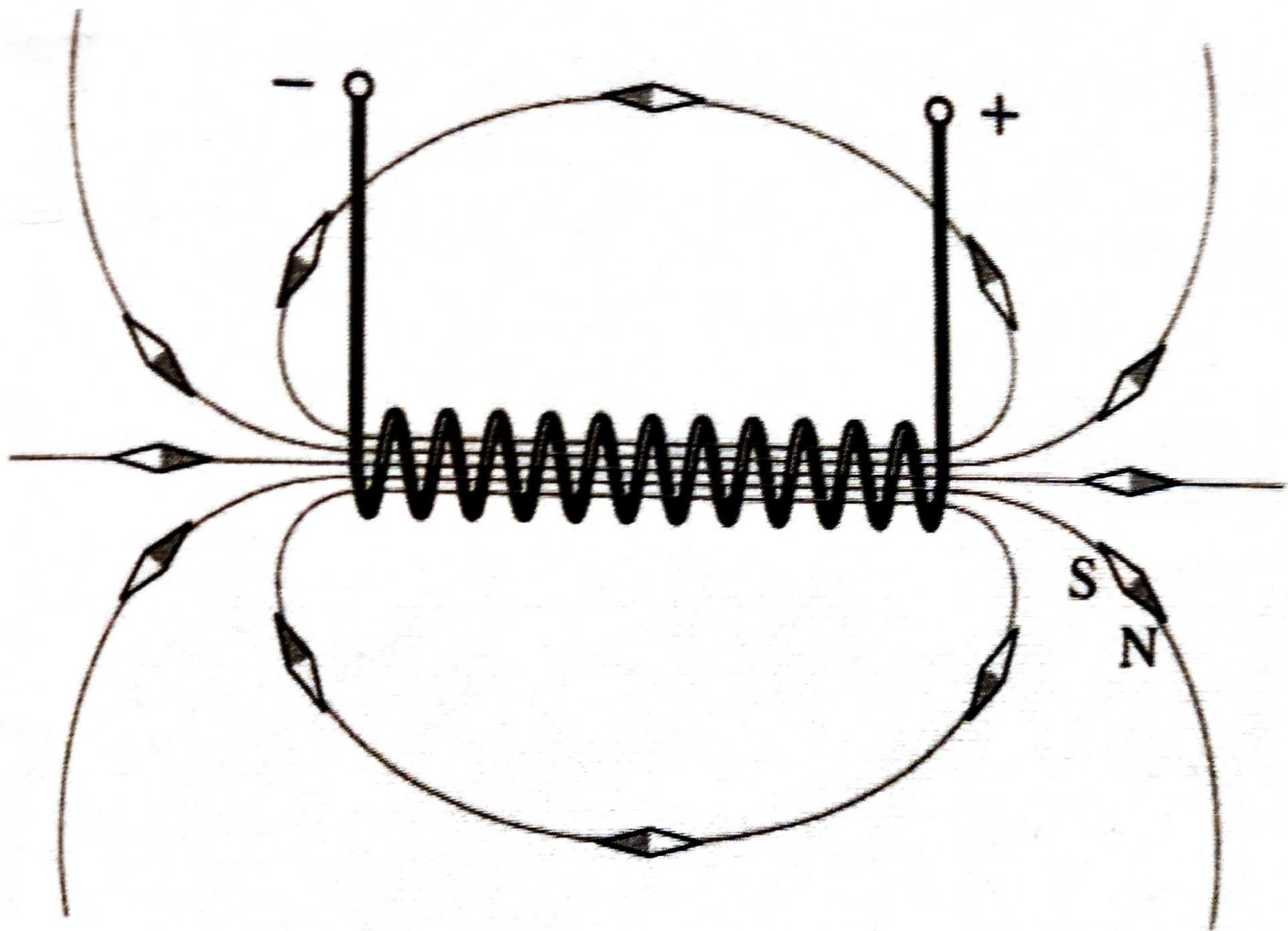
→ učiňme podle něj směr čar

→ naznačíme-li uchopení vodiče do pravé ruky tak, že natažený palec ukazuje dohodnutý směr proudu ($\oplus \rightarrow \ominus$), pak pokrčené prsty naznačují směr m. i. čar.

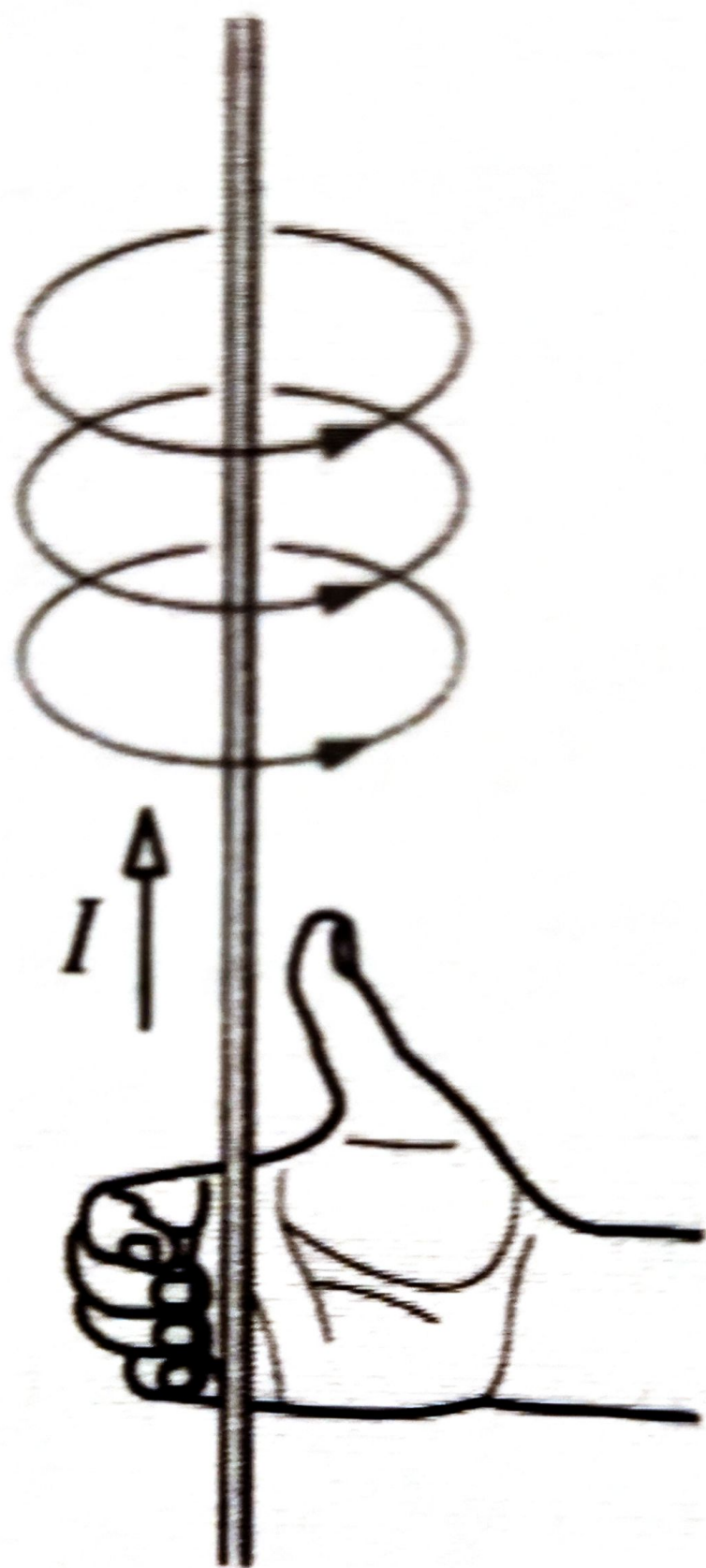


m. i čáry
jsou i vně
magnetu

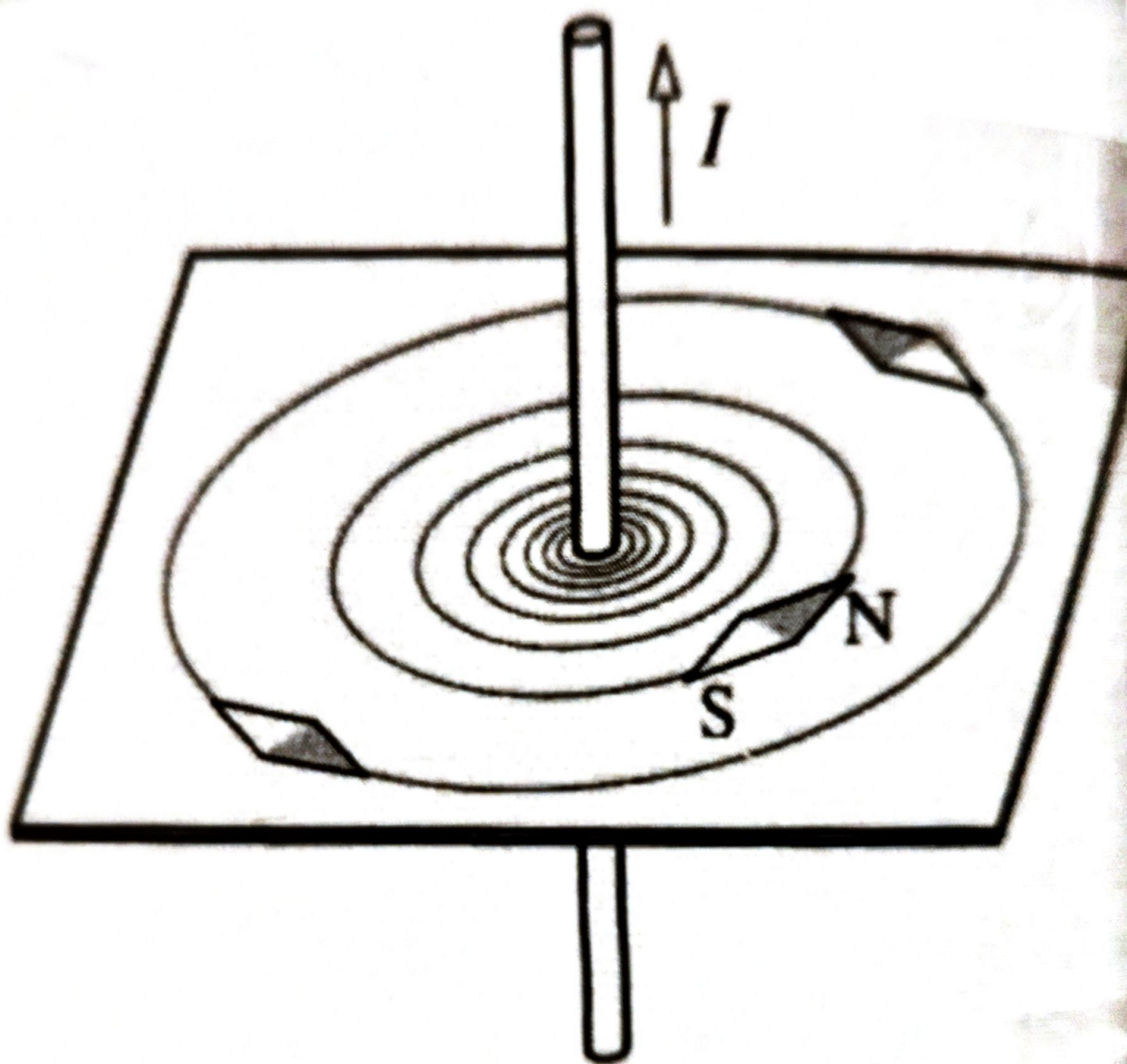
7-1 Magnetické pole tyčového magnetu



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

→ Když vodičem neprochází proud → je v poli magnetickém

→ Když vodičem prochází proud → působí na něj \vec{F}_m

→ Homogenní m. pole ⇒ rovnoběžné čáry

⊗ vodič, kterým prochází proud do náčrtny ~ letky šípu

⊙ ————— " ————— R náčrtny ~ hlavy šípu

⇒ podle APPR vícím směr m. i. čar vodič s proudem

→ na jedné straně se čáry sblízkují ⇒ ↑ hustota čar

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

→ na vodič působí magnetická síla a pohybuje se R
oblasti ↑ hustoty do oblasti ↓ hustoty

→ magnetická indukce - \vec{B}

→ v homogenním m. poli je velikost B všude stejná

→ směr: směr tečny v daném bodě magnetického
pole k m. indukčním čarám.

→ v homogenním 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 silové působení
pole na vodič s proudem - něco jako intenzita toho pole

→ velikost F_m

→ l = délka, kterou vodič zasahuje do vnějšího pole = aktivní d.

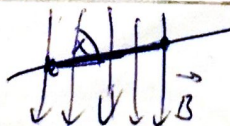
• wodič rovnoběžný s i. čarami → nepůsobí na něj \vec{F}_m

• wodič kolmý na i. čáry

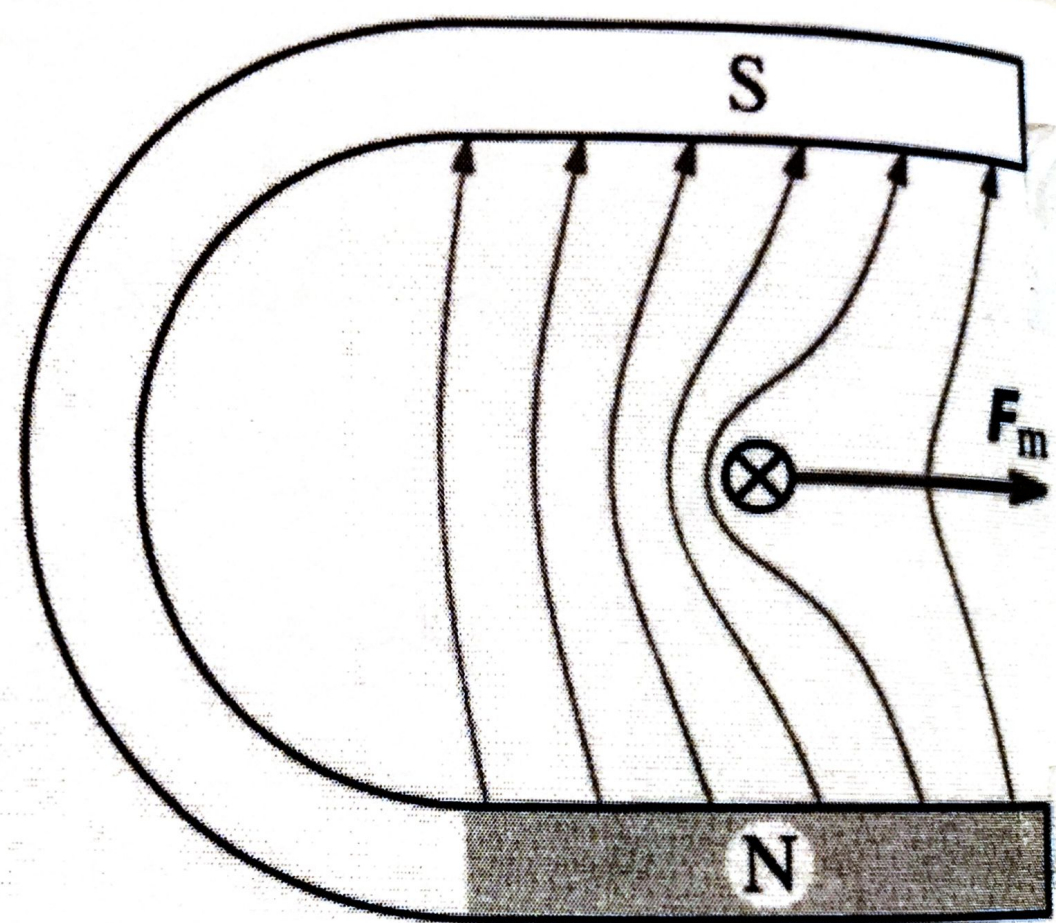
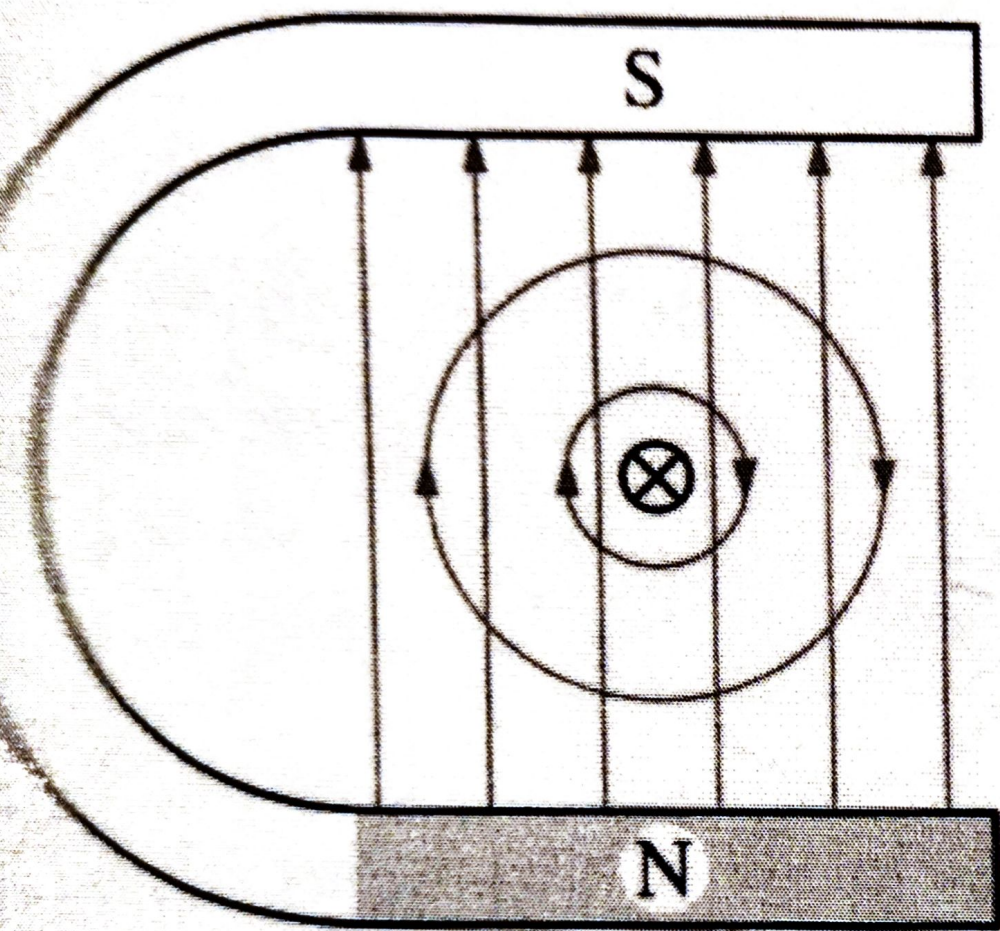
$$F_m = B \cdot I \cdot l$$

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

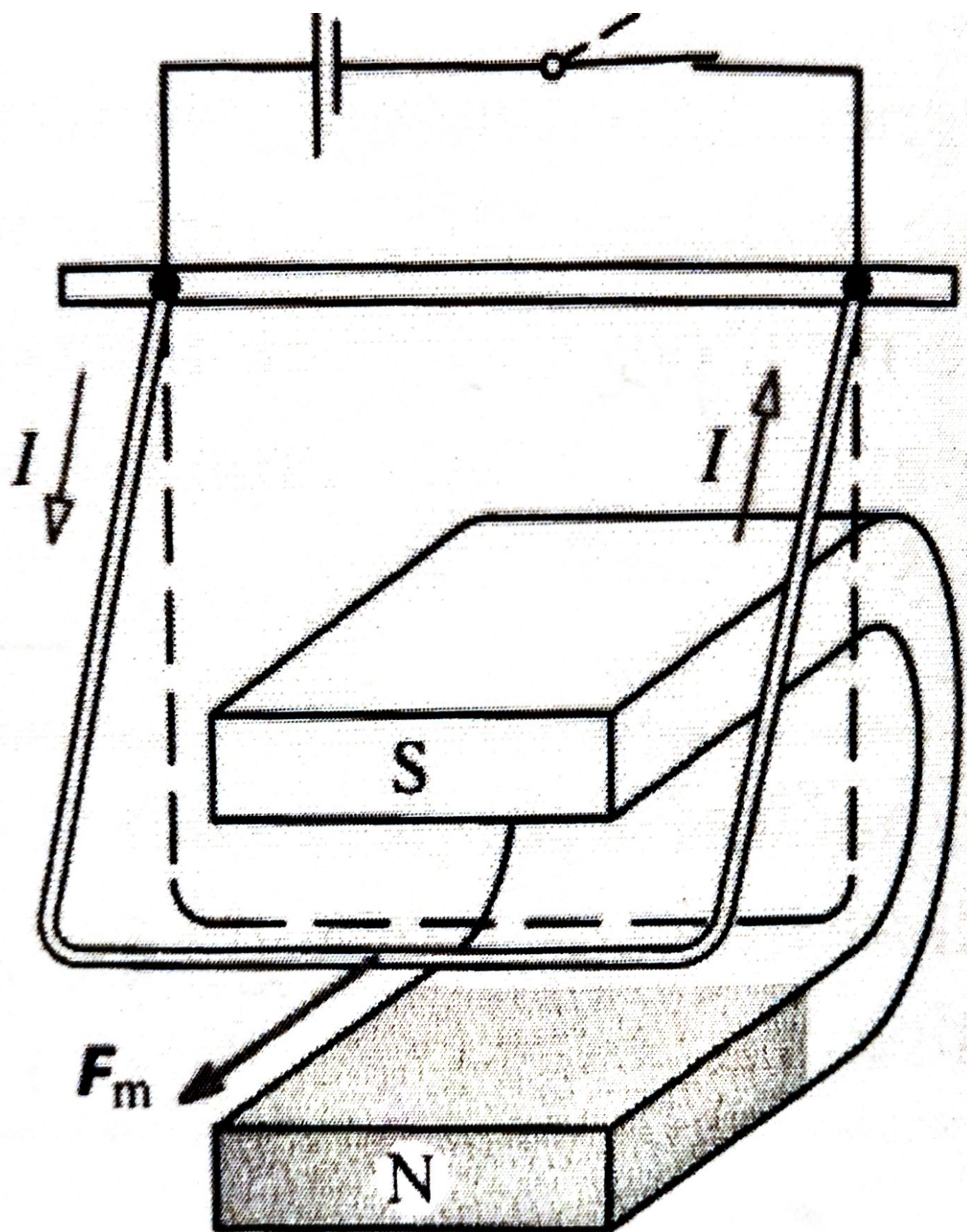
$$F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin(\alpha)$$



Ampérov
zákon



→ Vzájemné působení magnetických polí magnetu a vodiče s proudem



7-7 Demontrace magnetické síly

→ směr \vec{F}_m ..

→ Flemingovo pravidlo levé ruky

- položíme-li levou ruku k vodiči tak, aby prsty ukazovaly směr proudu a magnetické indukční čáry vstupovali do dlaně pod úhlem α ($\alpha = 90^\circ$ v kolektoru), pak natažený palec ukazuje směr \vec{F}_m

→ Prondové váhy

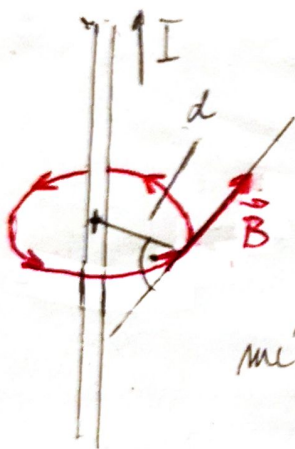
→ směr \vec{F}_m - dolů → vodič se táhne dolů

rovnoramenná
páka
→ porovnání F_m a F_G

$$F_m = F_G \Rightarrow B \cdot I \cdot l = m \cdot g \Rightarrow \underline{B = \frac{m \cdot g}{I \cdot l}}$$

→ slovník vztahování velikosti magnetické indukce

→ Magnetická indukce v okolí přímého vodiče s proudem



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

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

$\mu = \mu$ = permeabilita prostředí

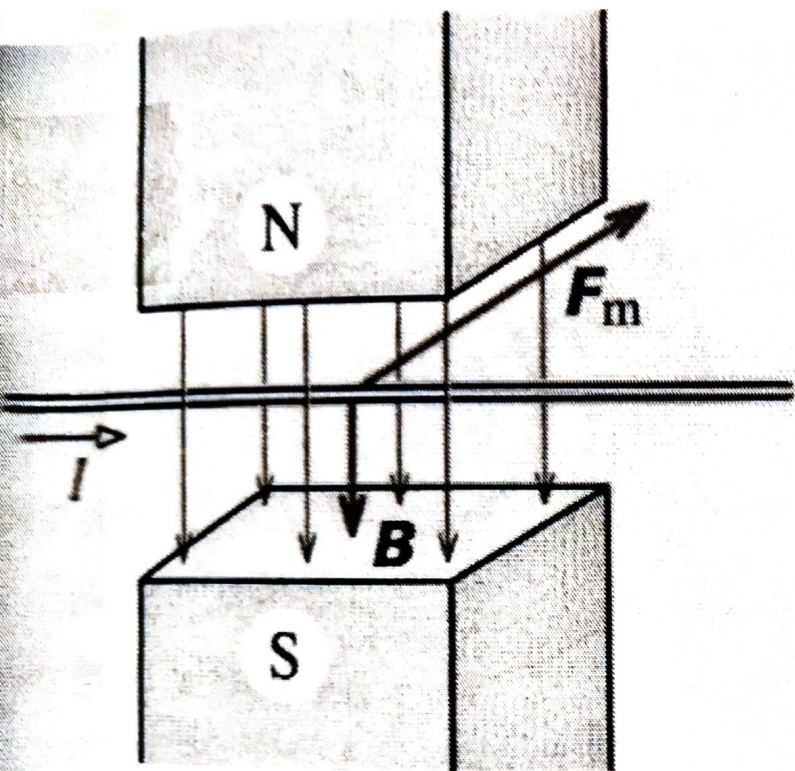
$$\underline{[\mu] = \frac{m \cdot A \cdot m}{A} = N \cdot A^{-2}}$$

μ_0 = permeabilita vakua = $4\pi \cdot 10^{-7} N \cdot A^{-2}$

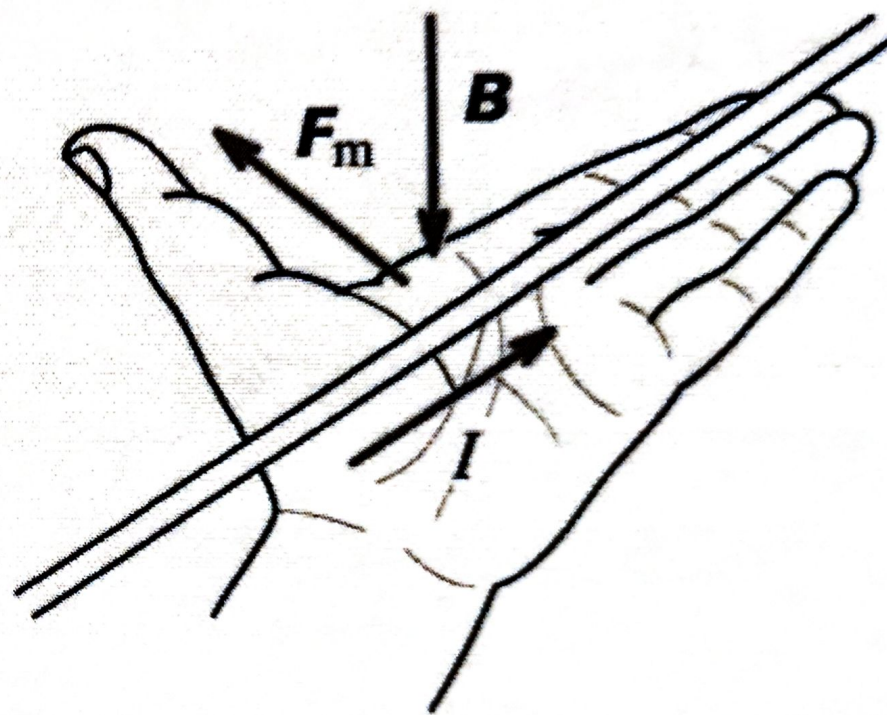
μ_r = relativní permeabilita

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

↳ čímže kolikrát je B v
daném prostředí větší nebo
menší než se vakuu



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



7-13 K Flemingovu pravidlu levé ruky

→ Vzájemné silové působení 2 vodičů s proudem

a) souhlasný směr proudu

→ vodič s I_1 → rozbij m. pole s m. indukcí \vec{B}_1

→ do toho pole, do daného místa (\vec{B}_1) vložíme vodič s I_2

⇒ na tento vodič působí \vec{F}_m

→ směr \vec{F}_m : FPLR → k vodiči s I_1 ⇒ přitahuje vodič s I_2

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

→ pokud bych vložil vodič s I_1 do m. pole vodiče s I_2

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

⇒ vodiče na sebe navzájem působí stejně velkými silami opačného směru

⇒ prochází-li vodiči proudy souhlasného směru, pak se vodiče přitahují silou o velikosti $F_m = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$

⇒ prochází-li vodiči proudy opačného směru, pak se vodiče odpuzejí silou o velikosti $F_m = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$

⇒ definice jednoho Ampéru

- 1A je stálý proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými, nekonečně dlouhými vodiči rozestavěnými průřezem, umístěnými ve vakuum ve vzdálenosti 1 m mezi nimi vyvolá silou o velikosti $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ na 1 m jejich délky

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

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

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

→ příklad

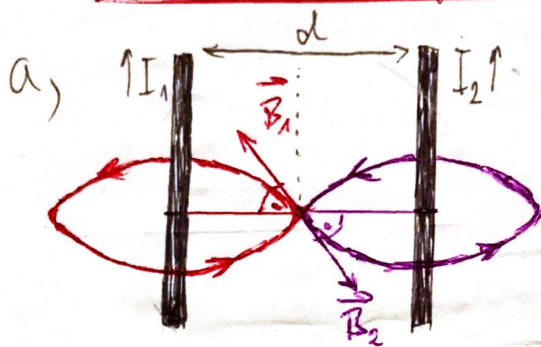
$$d = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$I_1 = I_2 = I = 10 \text{ A}$$

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

velikost B uprostřed pole
mari kómito vodiči

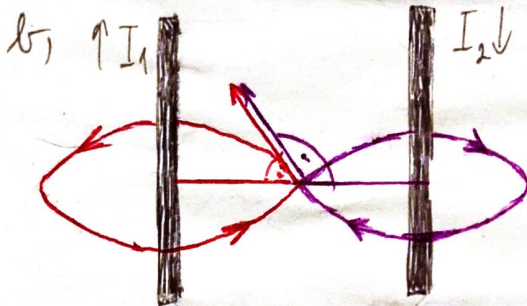
$B = ?$ a, proudy mají stejný směr b, různý směr



$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi \cdot \frac{1}{2}d} = \mu_0 \frac{I}{\pi d}$$

$$B_2 = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi \cdot \frac{1}{2}d} = \mu_0 \frac{I}{\pi d}$$

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



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

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

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

→ Magnetické pole cívky

→ cívka je vodič v podobě závitů $\Rightarrow N = \text{počet závitů}$
 $l = \text{délka cívky (ne vodiče)}$

→ prochází-li cívkou proud, pole je v jejím okolí m. pole, které znázorňujeme m. indukčními čarami

→ uvnitř cívky je homogenní m. pole a směr magnetické indukce je stejný jako směr m. i. čar

→ směr m. i. čar - APPR pro cívku s proudem

→ natačíme-li uchopení cívky do pravé ruky tak, že přebívané prsty ukazují dohodnutý směr proudu cívkou, pak natažený palec ukazuje směr m. i. čar a severní pól cívky

→ solenoid

→ velmi dlouhá cívka s vysokou hustotou závitů

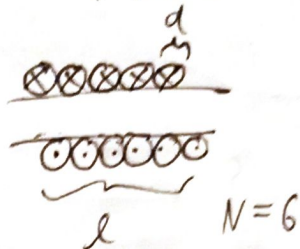
→ m. indukce vnitřní cívky

→ homogenní pole → vlně stejna'

$B = \mu \cdot I \cdot \frac{N}{l}$ - prostřední vnitřní cívky = jádro cívky
- proud
- hustota rávity = počet / délka

→ počet mezi rávity nejsou mezery

$l = d \cdot N$ \wedge $d =$ průměr vodiče



→ Částice s nábojem v homogenním m. poli

→ do h. m. pole vložíme kolmo k m. i. čarám přímý vodič s proudem

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

→ el. proud = uspořádaný pohyb volných částic s nábojem

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

→ elektrony mají rychlost v a procházejí aktivní délkou l

⇒ $l = l \cdot N \Rightarrow l = \frac{l}{N} \Rightarrow I = \frac{N \cdot e}{l \cdot N^{-1}} = \frac{N \cdot e \cdot v}{l}$

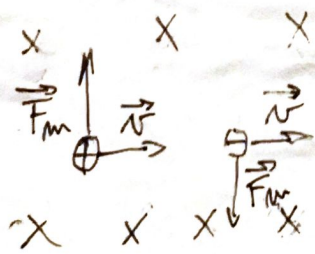
⇒ $F_m = B \cdot N \cdot e \cdot v$

→ velikost magnetické síly, která v homogenním m. poli s m. i. \vec{B} působí na 1 elektron, který se pohybuje rychlostí \vec{v} kolmo k m. indukčním čarám je

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

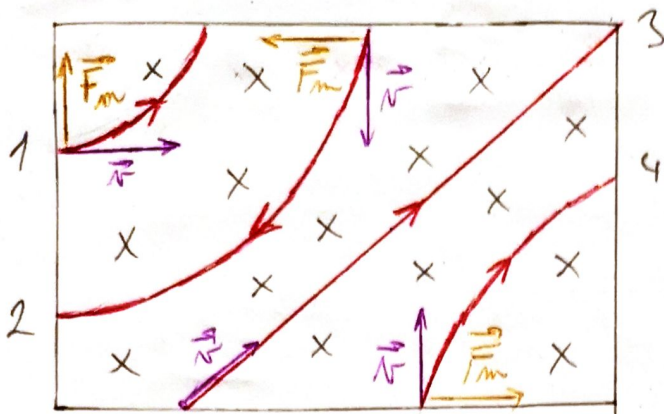
→ směr \vec{F}_m působící na částici s nábojem

- \oplus částice - stejně směr proudu ⇒ FPLR
- \ominus částice - opačný směr ⇒ místo levé ruky použijeme pravou



→ B směřuje do mařusny

→ zakřivení trajektorie částice s nábojem



1, ⊕ FPLR

2, ⊖ FPPR

3, bez náboje - nepůsobí na $10 F_m$

4, ⊖ FPPR

x → magnetická indukce pole směřuje do náblesny

→ $\vec{F}_m \perp \vec{v} \wedge \vec{F}_m$ směřuje do středu

$$\Rightarrow \vec{F}_m = \vec{F}_a \Rightarrow B \cdot e \cdot v = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

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

poloměr zakřivení trajektorie ← $r = \frac{m \cdot v}{B \cdot e}$

→ Magnetické vlastnosti látek

→ druh látky ovlivňuje velikost \vec{B}

⇒ zesiluje nebo zeslabuje m. pole té látky

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

→ ovlivněno vlastnostmi atomů příslušného prostředí → elektrony v atomech mají svoje m. pole

• diamagnetické atomy

→ magnetická pole elektronů se sčítají

⇒ zcela se vyruší

⇒ pole té látky se neposílí

• paramagnetické atomy

→ magnetická pole elektronů se vyruší jen s částí

⇒ pole té látky se trochu posílí

→ 3 druhy látek

• Diamagnetické látky

→ κ diamagnetických atomů - klato, měď, voda

μ_r je nepatrně menší než 1

• Paramagnetické látky

→ κ paramagnetických atomů - vzduch, hliník...

μ_r je nepatrně větší než 1

• Feromagnetické látky = Ferity

→ κ paramagnetických atomů - druhy ocelí

→ feromagnetismus = vlastnost krystalické struktury

↳ $\kappa \neq 0$ nebo ∞ stupenství by to bylo P látka

→ pro každou F látku existuje CURIOVA teplota
při jejíž překročení se začne chovat jako P

$\mu_r \in \langle 10^2, 10^5 \rangle$ výrazně zesílí m. pole

→ Elektromagnet

→ cívka s feromagnetickým jádrem

→ když se zapne proud, což v dutině vznikne pole

→ jádro se zmagnetizuje → pole se hodně zesílí

→ zmagnetizovaný materiál přestane být κ m. poli

• magnetický měkká látka - přestane být magnet

• magnetický tvrdá látka - zůstane magnetem

→ Elektromagnetické relé

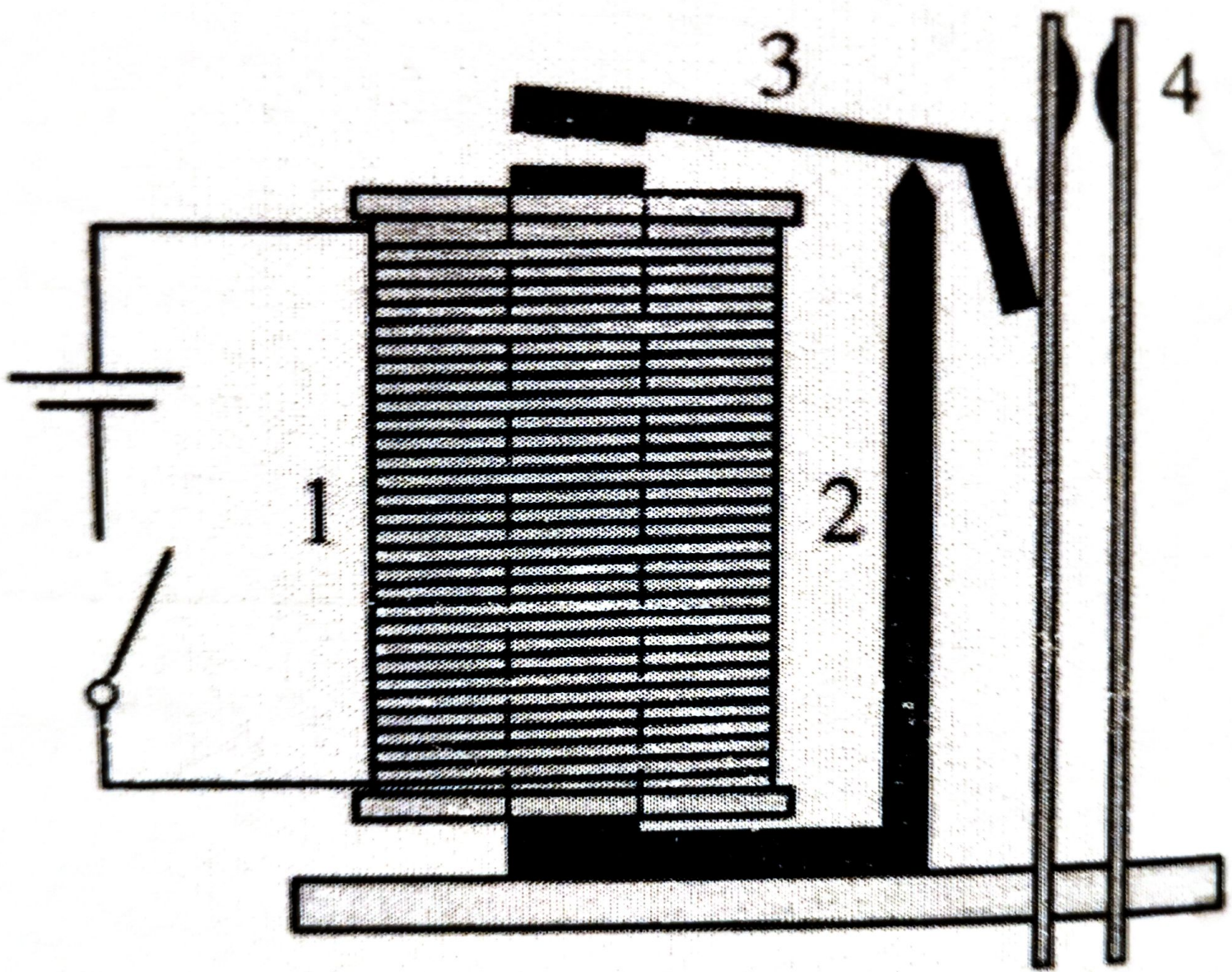
→ obvazek: 1, cívka 2, jádro s m. m. látky 3, kotva R

4, pružné kontakty

→ zapne proud ⇒ jádro se zmagnetizuje ⇒ přitáhne proud

⇒ sepnou se pružné kontakty - ty zapnou nějaký jiný obvod

→ složí malý proud pro tu cívku a ty kontakty tedy
nepřímo sepnou nějaký velký/nebezpečný 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° . 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 závitů 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 deskami je rychlostí $625 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 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. Vypočítejte 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 čarami svírá úhel 30° . Urči práci, která se vykoná při přemístění vodiče o 25 cm ve směru kolmém k indukčním čárám i ke směru proudu.

MAGNETICKÉ POLE

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

$\alpha = 60^\circ$

$B = 60 \text{ mT}$

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

$I = ?$

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

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

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

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

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

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

$\mu_r = ?$

$$F_m = B_1 I_2 l = \frac{\mu}{2\pi d} I_1 I_2 l = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi d} I_1 I_2 l$$

$$\Rightarrow \mu_r = \frac{2\pi d F_m}{\mu_0 I^2 l} = \frac{2\pi \cdot 10^{-3} \cdot 56 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 225 \cdot 1,25} =$$

$$= \frac{560}{2 \cdot 225 \cdot 1,25} = \frac{112 \cdot 5}{2,5 \cdot 45 \cdot 5} = \frac{224}{225} \doteq \underline{\underline{0,996}}$$

3) $N = 12000$

$l = 15 \text{ cm}$

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

a) $\mu = \mu_0$

b) $\mu_r = 495$

$I = ?$

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

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

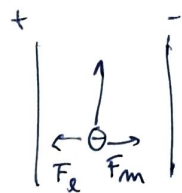
$$b) I = \frac{I_a}{495} \doteq \underline{\underline{1 \text{ mA}}}$$

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

$U = 30 \text{ V}$

$n = 625 \text{ km/s}$

$B = ?$



$$F_m = F_e \quad (F_{Lz} = 0)$$

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

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

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

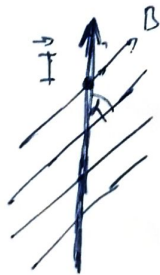
$I = 20 \text{ A}$

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

$\alpha = 30^\circ$

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

$W = ?$



směr proudu = směr \vec{F}_m

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

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

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