

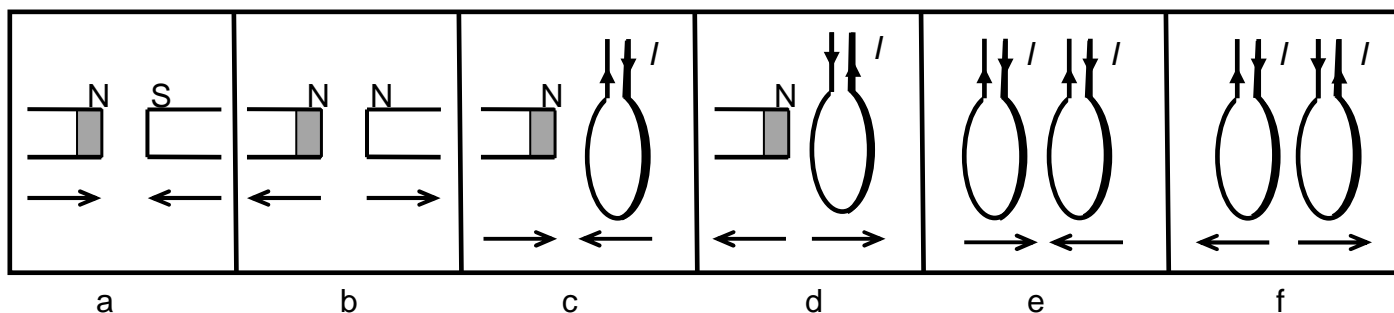
# MAGNETICKÉ POLE

## 1. Stacionární magnetické pole

je část prostoru, kde se veličiny popisující magnetické pole nemění s časem. Vzniká v blízkosti

- stacionárních vodičů nebo cívek se stálými proudy
- stacionárních permanentních magnetů (obvykle feritů)

síly působící mezi různými magnetickými poli:



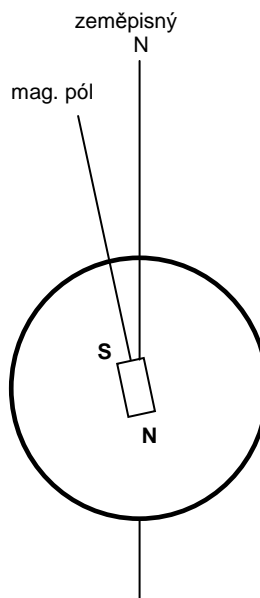
**magnetická indukční čára** je uzavřená prostorová orientovaná křivka, jejíž tečna v daném bodě má směr osy velmi malé magnetky umístěné v tomto bodě. Orientace:

- od N k S pólu permanentního magnetu

*Načrtni magnetické indukční čáry:*



Tyčový magnet



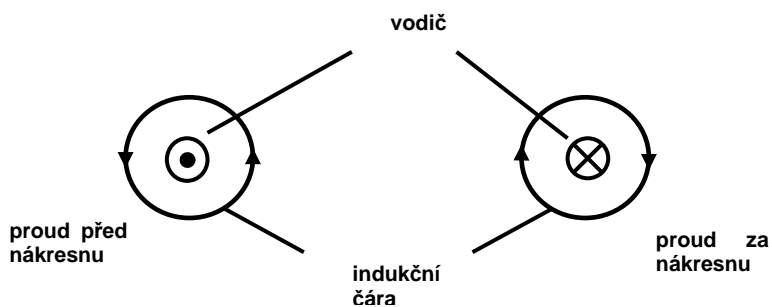
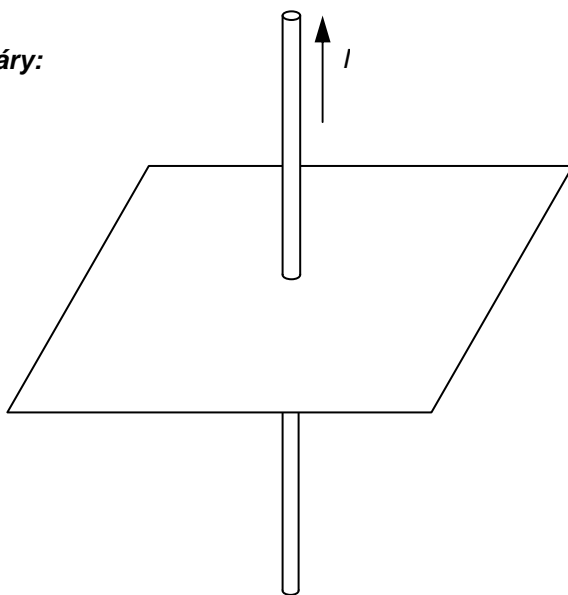
Magnetické pole Země

- **pro přímý vodič:**

Ampérovo pravidlo pravé ruky: palec ukazuje dohodnutý směr proudu ve vodiči, prsty ukazují orientaci magnetických indukčních čar

pravidlo pravotočivého šroubu:  
(viz doplňující materiály): pokud se pravotočivý šroub pohybuje ve směru proudu, pak směr rotace šroubu udává orientaci magnetických indukčních čar

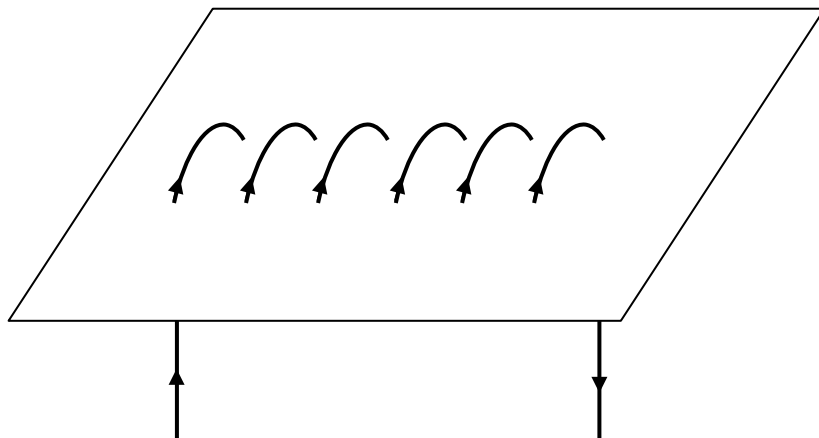
**Načrtni magnetické indukční čáry:**



- **pro cívku:**

Ampérovo pravidlo pravé ruky: cívku uchopíme tak, aby prsty ukazovaly ve směru dohodnutého proudu, pak palec ukazuje severní pól

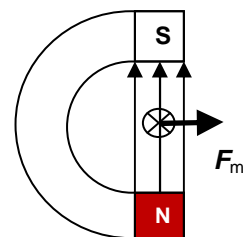
**Načrtni magnetické indukční čáry:**



## 2. Magnetická síla působící na vodič v magnetickém poli

- pokud umístíme magnet do vnějšího magnetického pole, bude na něj působit magnetická síla
- vodič, kterým prochází elektrický proud, je obklopen magnetickým polem  $\Rightarrow$  chová se jako „magnet“

pokud ho vložíme do vnějšího magnetického pole, bude na něj působit magnetická síla



- Flemingovo pravidlo levé ruky: když je směr vodiče  $\perp$  k indukčním čarám

CZ: indukční čáry směřují do dlaně

prsty ukazují směr proudu ve vodiči

palec ukazuje směr působící síly  $F_m$

E:

ukazováček ve směru pole

prostředníček ve směru proudu

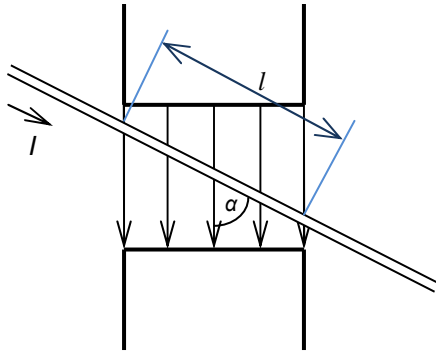
palec ukazuje směr působící síly

(viz doplňující materiály)

### 3. Magnetická indukce ( $\vec{B}$ )

vyjadřuje „sílu“ magnetického pole

(viz doplňující materiály):



- $F_m \propto l, I, B, \alpha$

$$F_m = BIl \sin \alpha$$

$F_m = BIl$  ... pro vodič  $\perp$  k magnetickým indukčním čarám

$$B = \frac{F_m}{Il}$$

$$[B] = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = \text{T (tesla)}$$

Otázky:

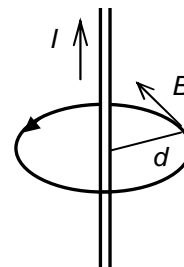
L5/251-259, 262, x263-5

### 4. Magnetické pole dvou rovnoběžných vodičů s proudem

- $\vec{B}$  blízko přímého vodiče

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

směr: tečna k indukční čáře



- $\mu$  ... permeabilita prostředí kolem vodiče, materiálová konstanta  
 $\mu = \mu_r \mu_0$

$\mu_r$  ... relativní permeabilita – v tabulkách

$\mu_0$  ... permeabilita vakua

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

- **magnetické pole dvou vodičů**

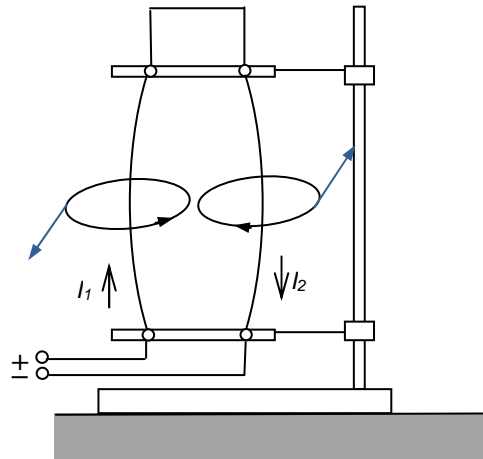
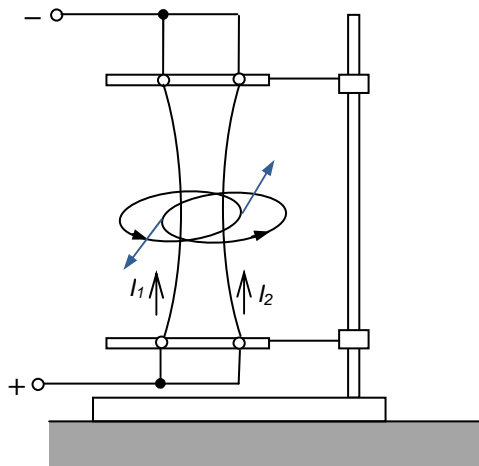
$$\text{velikost: } F_m = Bl_2l = \mu \frac{I_1}{2\pi d} I_2l$$

$$\text{velikost: } F_m = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l$$

vodiče se přitahují, pokud  $I_1, I_2$  mají stejný směr

vodiče se odpuzují, pokud  $I_1, I_2$  mají opačný směr

Dokonči obrázky (vyznač magnetickou indukci, zakresli síly):

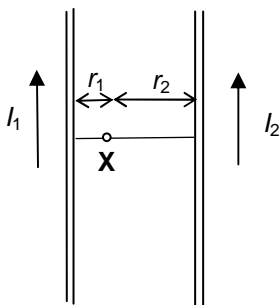


**Definice 1 A:** Ampér je stálý proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými  $\infty$  dlouhými vodiči zanedbatelného průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 m od sebe vyvolá mezi vodiči sílu  $2 \times 10^{-7}$  N na 1 m vodiče.

### Otázky:

1. Určete velikost a směr magnetické indukce v bodě X (viz obrázek).

$I_1 = 50 \text{ A}$ ,  $I_2 = 10 \text{ A}$ ,  $r_1 = 5 \text{ cm}$ ,  $r_2 = 15 \text{ cm}$ , permeabilita vakua je  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-1}$ .

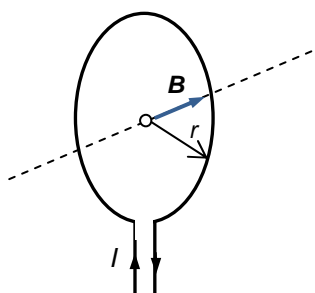


## 5. Magnetické pole cívky

- směr – tečna k indukční čáře
- velikost uprostřed:

jednoduchého závitů

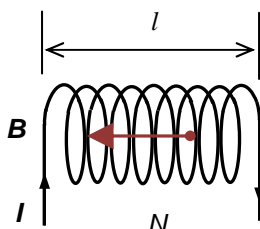
$$B = \frac{\mu I}{2r}$$



dlouhého solenoidu nebo toroidu

$$B = \frac{\mu NI}{l}$$

$N$  ... počet závitů      hustota závitů ...  $\frac{N}{l}$

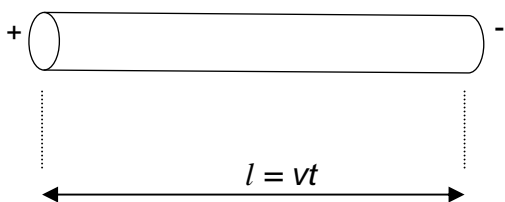


### Otázky:

2. Solenoid má 500 hustě navinutých závitů a délku 40 cm. Relativní permeabilita železného jádra je 1200 a cívkou prochází proud 0,1 A. Určete  $B$  uprostřed solenoidu s jádrem i bez jádra.

L5/267-271

## 6. Částice s nábojem v magnetickém poli



$$I = \frac{Q}{t} = \frac{Ne}{l} = \frac{Nev}{l}$$

pokud je vodič  $\perp$  k  $\vec{B}$ , velikost síly působící na  $N$  volných elektronů:  $F_m = BIl = BNe v$

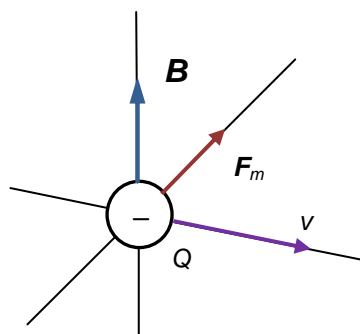
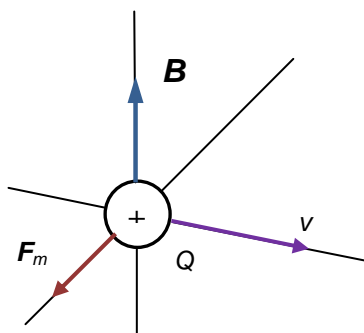
velikost síly působící na JEDEN elektron  $\vec{v} \perp \vec{B}$ :

$$F_m = Bev$$

velikost síly působící na pohybující se náboj  $q$ ,  $\vec{v} \perp \vec{B}$ :

$$F_m = Bqv$$

směr síly: Flemingovo pravidlo levé ruky (platí pro + náboj!!!)



trajektorie částice

$\vec{v} \perp \vec{B}$  ... kružnice, když je pole dostatečně velké, pokud není – pouze část kružnice  
 $\vec{v}$  není  $\perp \vec{B}$  ... šroubovice

$$F_m = F_d$$

$$Bev = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br}$$

Wehneltova trubice  
(viz doplňující materiály)

**Lorentzova síla:** Jestliže se částice s nábojem pohybuje současně v elektrickém a magnetickém poli, působí na ni jak síla elektrická, tak síla magnetická. Výslednicí obou těchto sil je Lorentzova síla, která určuje směr a druh pohybu částice.

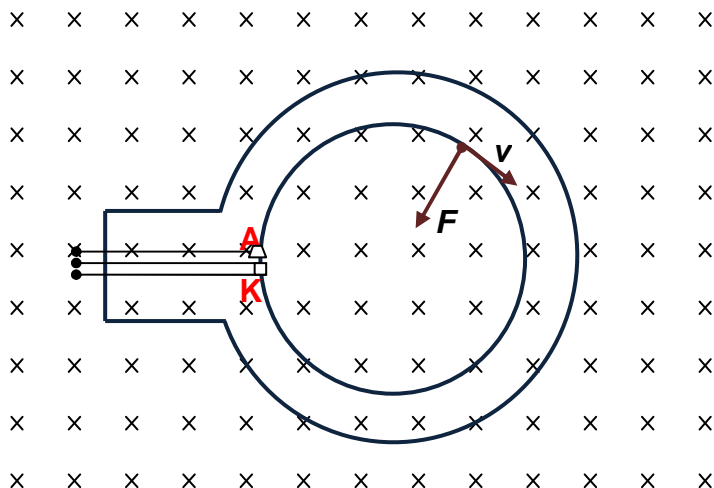
$$\mathbf{F}_L = \mathbf{F}_e + \mathbf{F}_m$$

**Otázky:**

3. Elektron vstupuje do homogenního magnetického pole o indukci  $B = 2.5 \times 10^{-3} \text{ T}$  rychlostí  $v = 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  kolmo k indukčním čarám. Najděte poloměr kruhové trajektorie elektronu.

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}, m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

Potom spočítejte poloměr trajektorie částice  $\alpha$ , jejíž náboj je  $2e$  a hmotnost  $6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .



4. Osu solenoidu, který má 1000 závitů a délku 0,1 m, umístíme rovnoběžně s indukčními čarami zemského magnetického pole. Uprostřed naměříme indukci  $70 \mu\text{T}$ . Spočítejte, jak velký proud by musel touto cívkou procházet, aby se uvnitř vytvořilo stejně silné magnetické pole, jako je v tomto místě magnetické pole Země. Permeabilitu vakua uvažujte  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-1}$ .

L5/272-284

## 7. Magnetické vlastnosti látek

Magnetické vlastnosti různých látek jsou určeny jejich relativní permeabilitou  $\mu_r$ . Velká relativní permeabilita znamená, že látka značně zesiluje vnější magnetické pole. Takové materiály mohou být použity např. jako jádra elektromagnetů (elektromagnet bude  $\mu_r$ -krát „silnější“).

- **diamagnetické látky**

- $\mu_r$  je nepatrně menší než 1 (např. 0.99999), takže mírně zeslabují vnější magnetické pole (ve srovnání s vakuem)
- vzácné plyny, zlato, měď, rtuť, ...



• **paramagnetické látky**

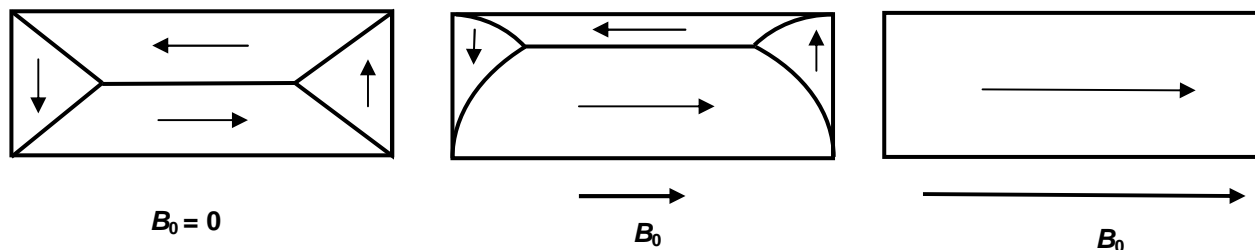
- $\mu_r$  je nepatrně větší než 1 (např. 1.000023 pro Al), takže mírně zesilují vnější magnetické pole
- sodík, draslík, hliník, ...

• **feromagnetické látky**

- $\mu_r$  od asi 100 do 100 000, takže značně zesilují vnější magnetické pole
- 
- **magneticky měkké materiály** – magnetické vlastnosti zanikají, pokud dojde k odstranění nebo rychlé změně vnějšího magnetického pole. Používány např. při výrobě jader elektromagnetů.
- **magneticky tvrdé materiály** – je mnohem obtížnější zmagnetizovat, ale udrží si své magnetické vlastnosti, i když je vyjme z vnějšího magnetického pole, např. ferity – vyrobeny z oxidu železa kombinovaného s oxidy jiných kovů (Mn, Ba), užití – permanentní magnety
- mají tuto vlastnost pouze v krystalickém, ne v kapalném ani amorfním stavu. Když jejich teplota překročí tzv. Curieovu teplotu (materiálová konstanta, pro Fe 770 °C), stávají se paramagnetickými

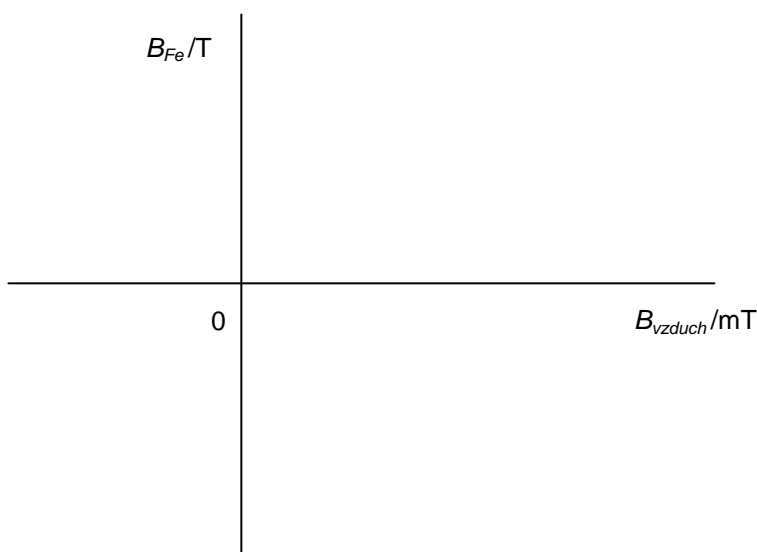
**Teorie domén**

Magnetické domény se formují spontánně uvnitř materiálu – objem asi od  $10^{-3} \text{ mm}^3$  do  $10 \text{ mm}^3$ . V rámci těchto domén se elektrony souhlasně uspořádají – „maličké magnety“. Působením vnějšího magnetického pole se domény začnou orientovat souhlasně. S rostoucí indukcí se stále více domén orientuje souhlasně, dokud nejsou uspořádány všechny. Tento stav nazýváme magnetické nasycení (látka je magneticky nasycena).



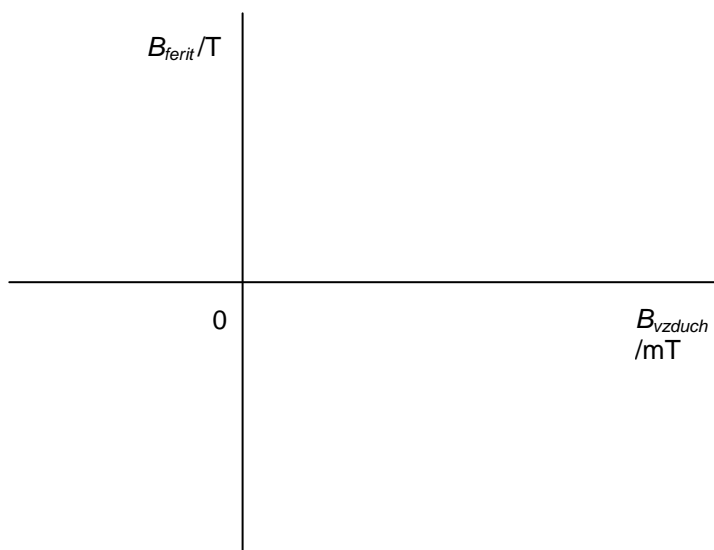
**Hysterezní smyčka** popisuje magnetickou indukci v látce ( $B$ ), je-li umístěna do vnějšího magnetického pole ( $B_0$ ). Plocha uvnitř smyčky je přímo úměrná energii, která se spotřebuje na jeden „cyklus magnetizace a demagnetizace“ – během procesu vzniká teplo.

Zakresli obrázek hysterezní smyčky do souřadnicového systému:





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## 8. Použití elektromagnetů

Načrtni obrázky podle doplňujících materiálů:

relé

galvanometr



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## reproduktor

### Otázky:

L5/287-290

### Odpovědi:

1.  $187 \mu\text{T}$
2.  $0,189 \text{ T}$ ,  $1,57 \times 10^{-4} \text{ T}$
3.  $2,27 \text{ mm}$ ,  $7,49 \text{ m}$
4.  $5,6 \times 10^{-3} \text{ A}$