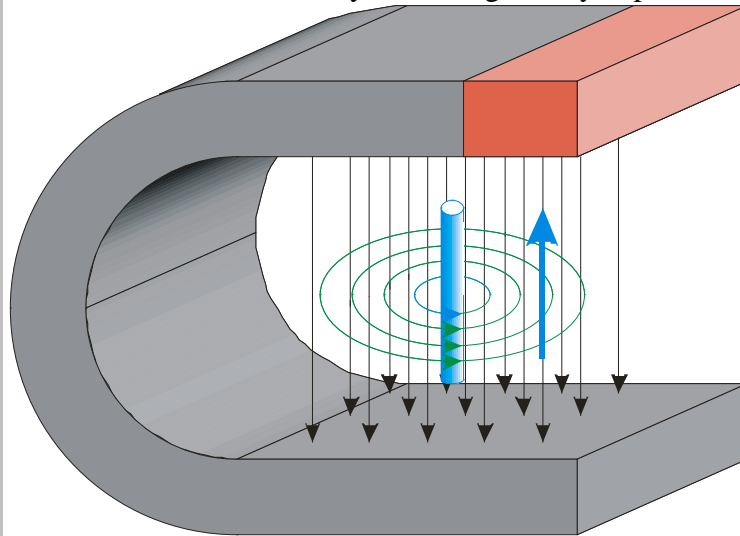


## 4.5.4 Magnetická indukce

**Předpoklady:** 4501, 4502, 4503

**Př. 1:** Do homogenního magnetického pole se svislými indukčními čarami položíme svislý vodič s proudem. Urči směr síly, kterou bude na vodič působit magnetické pole, pokud proud i indukční čáry směřují seshora dolů.

Nakreslíme si indukční čáry obou magnetických polí a hledáme místo, kde se čáry odečítají



problém: indukční čáry jsou na sebe kolmé a nikdy se navzájem neodečítají

Druhý pokus: Použijeme Flemingovo pravidlo levé ruky. ⇒ Opět problém: nemůžu položit levou ruku na vodič tak, aby do dlaně vstupovaly indukční čáry magnetického pole. Indukční čáry magnetického pole jsou s drátem rovnoběžné

⇒ dvě možnosti:

- pravidla, která jsme si odvodili pro magnetickou sílu mají díry
- síla, kterou v tomto případě působí magnetické pole na vodič, je nulová (a proto ji naše pravidla nedokážou určit)

⇒ pokusem bychom zjistili, že správná je druhá možnost

Pokud je vodič rovnoběžný se směrem indukčních čar magnetického pole, působí na něj nulová magnetická síla.

Vrátíme se zpět k situaci, kdy magnetická síla na vodič působí (tedy, když je vodič kolmý na siločáry). Dosud jsme situaci řešili kvalitativně (jaký má síla směr), teď se pokusíme o kvantitativní pohled (jak je síla velká).

Na čem závisí velikost magnetické síly na vodič kolmý k indukčním čarám?

- velikost proudu  $I$
- délka vodiče v magnetickém poli  $l$
- síla magnetického pole (na tu ještě nemáme veličinu)

Vzorec pro velikost magnetické síly:  $F_m = B \cdot I \cdot l$

**B – magnetická indukce** (udává sílu magnetického pole), vektorová veličina (směr shodný se

směrem magnetických indukčních čar), jednotka Tesla [T]  
 velikosti magnetické indukce (řádově):

- silný permanentní magnet  $10^{-2}$  až  $10^{-1}$  T
- silný laboratorní elektromagnet 10 T
- magnetické pole Země v ČR  $10^{-5}$  T

**Př. 2:** Vyjádři jednotku Tesla pomocí základních jednotek SI.

$$F = B \cdot I \cdot l$$

$$B = \frac{F}{(I \cdot l)} = \frac{1 \text{ N}}{(1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m})} \text{ ještě musíme vyjádřit 1 Newton}$$

$$F = m \cdot a \Rightarrow 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$B = \frac{F}{(I \cdot l)} = \frac{1 \text{ N}}{(1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m})} = \frac{(1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})}{(1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m})} = \frac{\text{kg}}{(\text{A} \cdot \text{s}^2)}$$

**Př. 3:** Vodič délky 8 cm je umístěn kolmo k indukčním čarám homogenního magnetického pole o indukci  $B = 0,012 \text{ T}$ . Urči sílu, která na něj bude působit, pokud vodičem prochází proud 5 A.

$$B = 0,012 \text{ T}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

$$l = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$$

$$F_m = ?$$

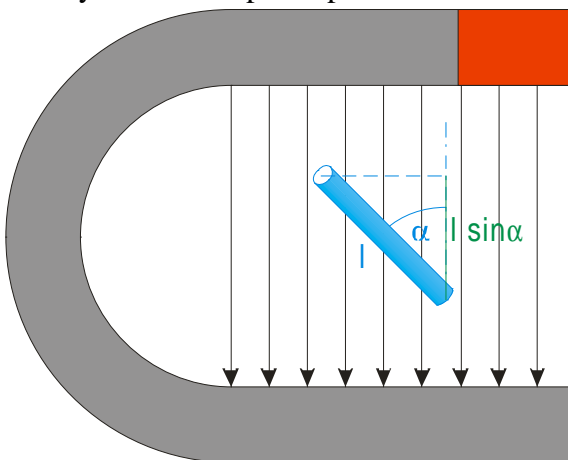
$$F_m = B \cdot I \cdot l = 0,012 \cdot 5 \cdot 0,08 \text{ N} = 0,0048 \text{ N}$$

Na vodič bude působit magnetická síla o velikosti 0,0048 N.

Zatím umíme krajní případy:

- vodič kolmý na magnetické indukční čáry  $\Rightarrow F_m = B \cdot I \cdot l$
- vodič rovnoběžný s magnetickými indukčními čárami  $\Rightarrow F_m = 0$

Jaká bude situace, pokud bude vodič svírat s indukčními čarami úhel  $\alpha$ ?  
 z délky vodiče se uplatní pouze část kolmá na indukční čáry  $l_k = l \cdot \sin \alpha$



$\Rightarrow$  vzorec pro magnetickou sílu při libovolné poloze drátu:  $F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$

**Dodatek:** O magnetické síle působící na vodič se někdy mluví jako o síle Ampérově.

**Př. 4:** Urči délku vodiče, který svírá s indukčními čarami homogenního magnetického pole o indukci  $B=0,05\text{ T}$  úhel  $60^\circ$ , pokud na něj v okamžiku, kdy přes něj prochází proud  $10\text{ A}$ , působí síla  $0,05\text{ N}$ .

$$B=0,05\text{ T} \quad I=10\text{ A} \quad F_m=0,05\text{ N} \quad \alpha=60^\circ$$

$$l=?$$

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

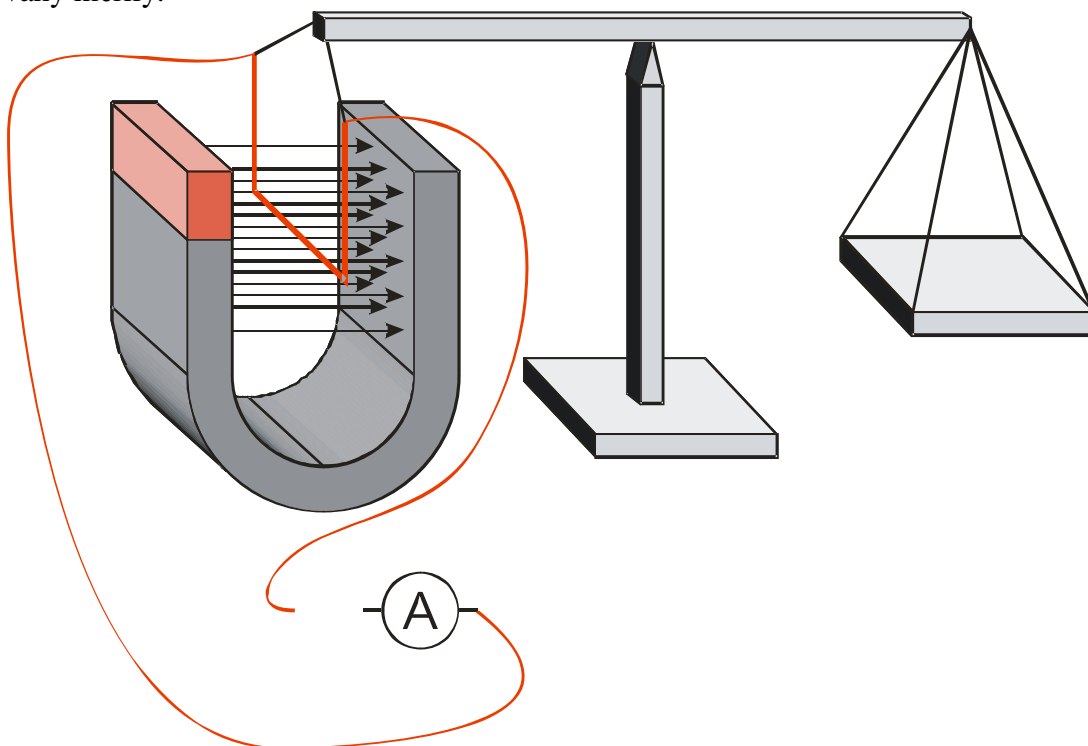
$$l = \frac{F_m}{B \cdot I \cdot \sin \alpha} = \frac{0,05}{0,05 \cdot 10 \cdot \sin 60^\circ} \text{ m} = 0,12 \text{ m}$$

Vodič musí mít délku  $0,12\text{ m}$ .

Jak změříme  $B$ ?

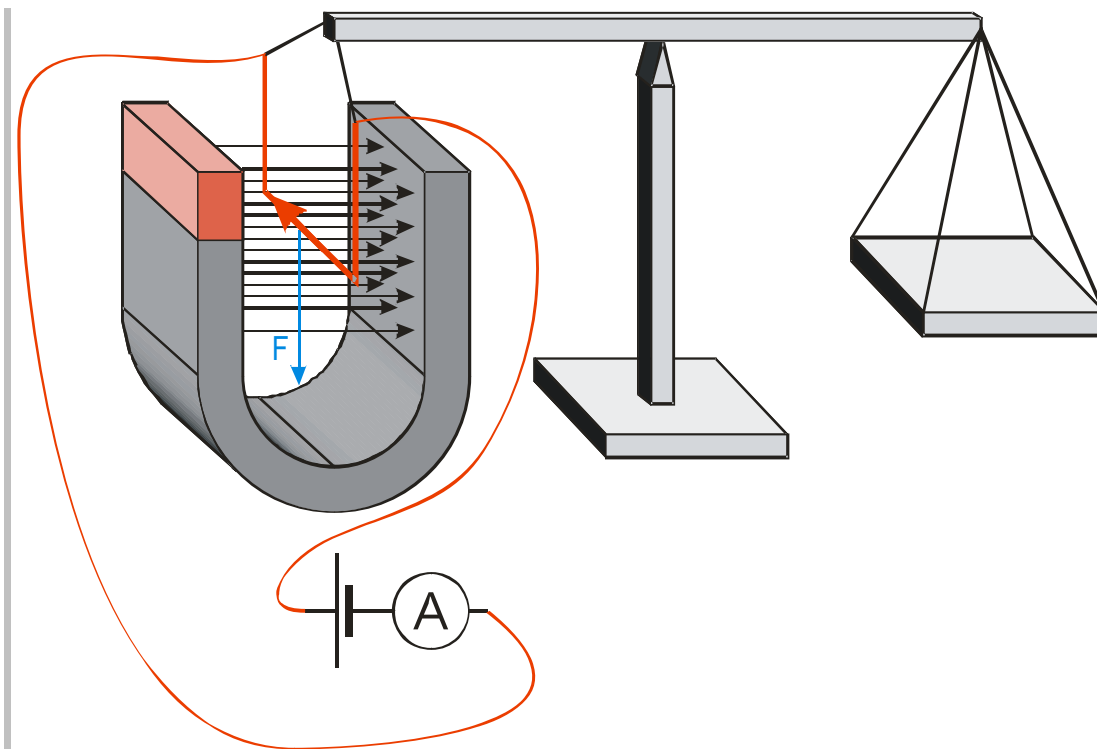
Například pomocí **proudových vah** – váhy, kde je jedna z mističek nahrazena drátem připojeným k obvodu s ampérmetrem

**Př. 5:** Vysvětli pomocí obrázku funkci proudových vah. Jak můžeme s jejich pomocí určit velikost magnetické indukce magnetu? Dokresli do červeného obvodu zdroj v takové polaritě, aby váhy měřily.



Magnetická síla táhne drát magnetickou silou dolů  $\Rightarrow$  drát zatěžuje levou stranu vah (jako by na ní bylo položeno závaží)  $\Rightarrow$  váhy můžeme vyvážit závažím na druhé straně  $\Rightarrow$  z hmotnosti závaží zjistíme velikost magnetické síly  $\Rightarrow$  z velikosti magnetické síly (a znalosti délky drátu a protékajícího proudu) vypočítáme velikost magnetického pole

Pokud mají váhy fungovat, mělo by magnetické pole na drát působit směrem dolů  $\Rightarrow$  proud by měl téct zepředu dozadu naznačeným směrem  $\Rightarrow$  nakreslíme zdroj.



**Př. 6:** Při měření magnetické indukce prochází drátem o délce 4,2 cm proud 2 A. Rovnováha nastala, když jsme na druhou stranu vah položili závaží o hmotnosti 1,5g. Urči velikost magnetické indukce.

$$I = 2 \text{ A} \quad \alpha = 90^\circ \quad l = 4,2 \text{ cm} = 0,042 \text{ m} \quad m = 1,5 \text{ g} = 0,0015 \text{ kg}$$

$$B = ?$$

Váhy jsou rovnoramenné  $\Rightarrow$  jsou v rovnováze pokud na obě ramena působí stejná síla.

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

$$F_g = m \cdot g$$

$$F_m = F_g$$

$$B \cdot I \cdot l = m \cdot g$$

$$B = \frac{m \cdot g}{I \cdot l} = \frac{0,0015 \cdot 10}{2 \cdot 0,042} \text{ T} = 0,178 \text{ T}$$

Magnetická indukce měřeného pole má velikost 0,178 T.

**Shrnutí:** Sílu magnetického pole vyjadřujeme pomocí magnetické indukce.