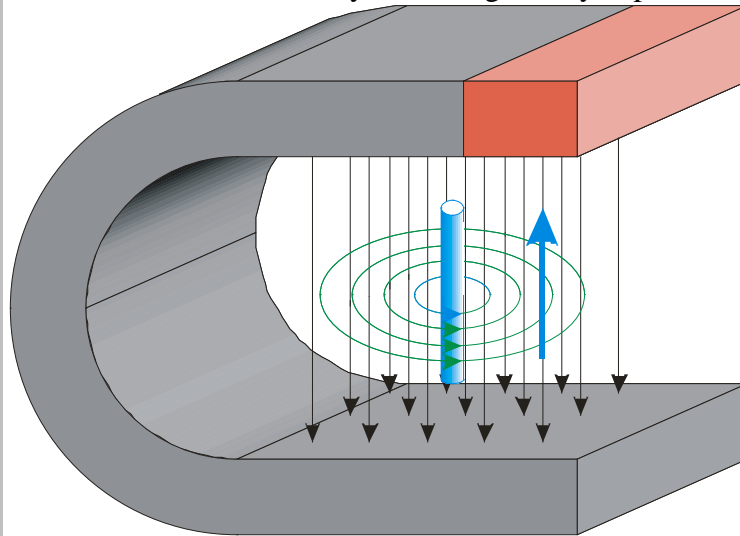


4.5.4 Magnetická indukce

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: nemůžeme 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.

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

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

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

$$F_m = ?$$

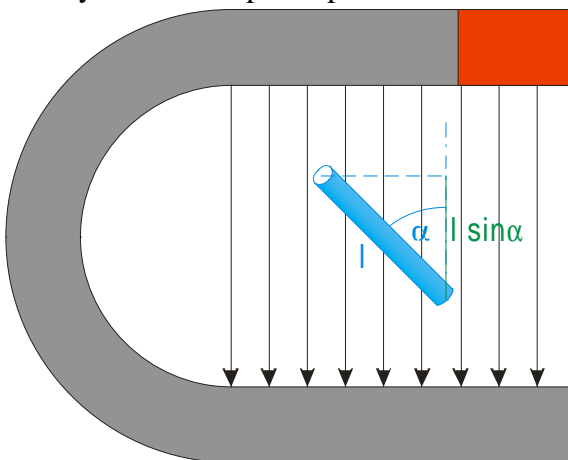
$$F_m = B \cdot I \cdot l = 0,012 \cdot 5 \cdot 0,08 \text{ N} = 0,0048 \text{ N}$$

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 α ?
 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° , pokud na něj v okamžiku, kdy přes něj prochází proud 10 A , působí síla $0,05\text{ N}$.

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

$$l=?$$

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

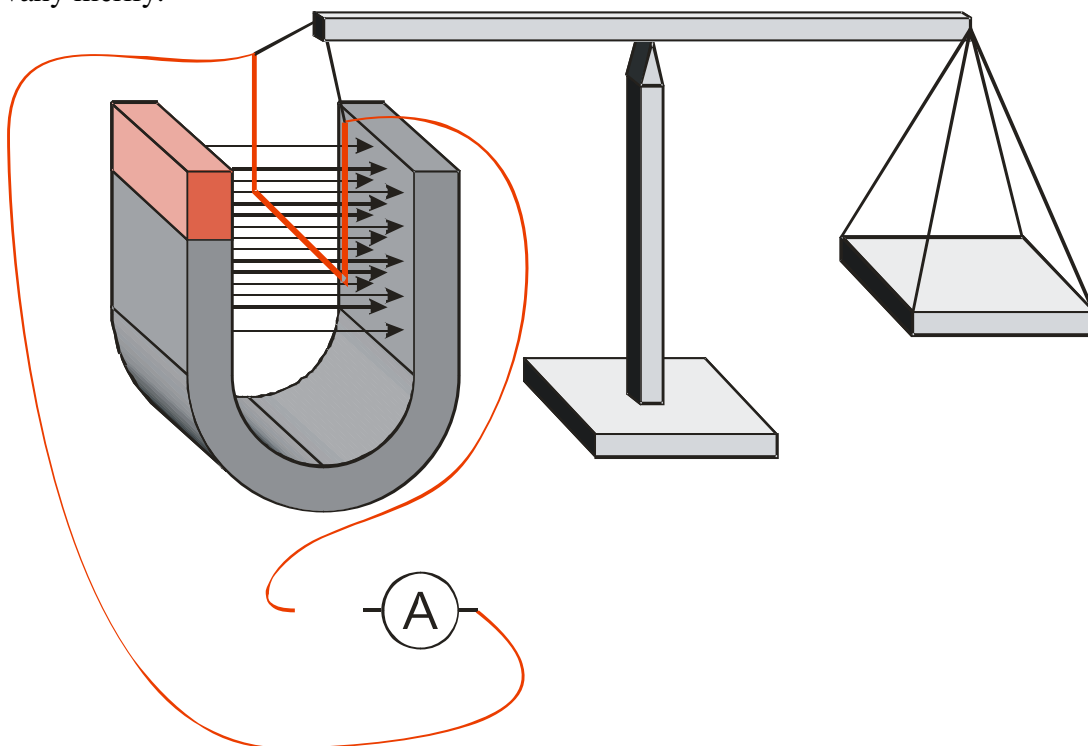
$$l = \frac{F_m}{B \cdot I \cdot \sin \alpha} = \frac{0,05}{0,05 \cdot 10 \cdot \sin 60^\circ} \text{ m} = 0,12 \text{ m}$$

Vodič musí mít délku $0,12\text{ m}$.

Jak změříme B ?

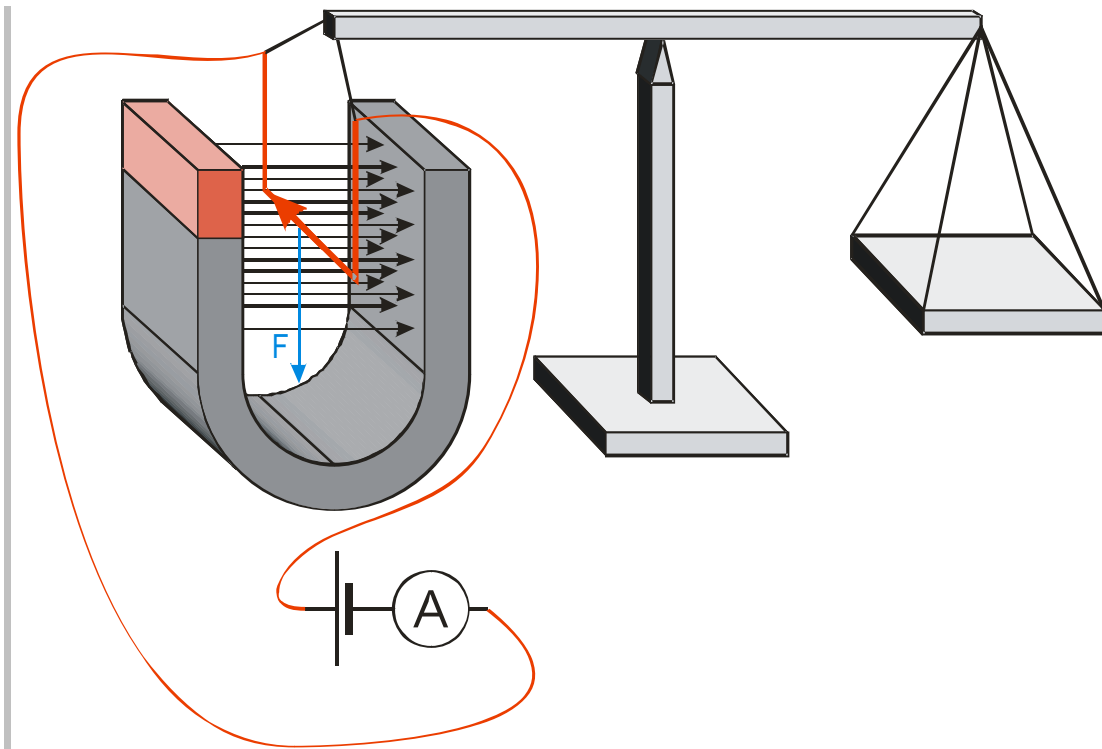
Například pomocí **proudových vah** – váhy, kde je jedna z mističek nahrazena drátem připojeným k obvodu s ampérmetrem

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.