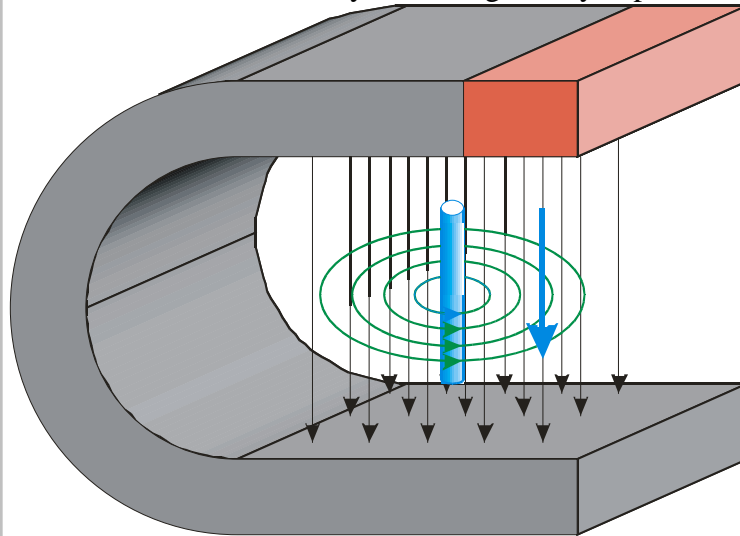


4.5.4 Magnetická indukce

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. \Rightarrow 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

\Rightarrow 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 indukční čáry). 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),

\Rightarrow vzorec pro velikost magnetické síly: $F_m = B \cdot I \cdot l$.

B – magnetická indukce (udává sílu magnetického pole podobně jako elektrická intenzita pole elektrického), 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.

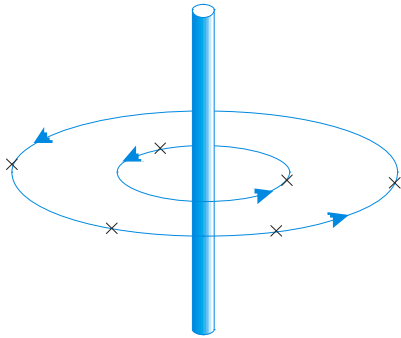
$$F = B \cdot I \cdot l$$

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

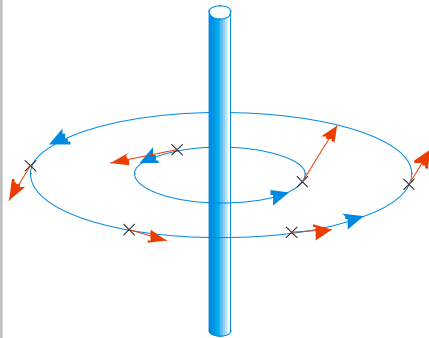
$$F = m \cdot a \Rightarrow 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

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

Př. 3: Na obrázku je nakreslena část svislého přímého vodiče, kterým protéká elektrický proud. V obrázku jsou vyznačeny magnetické indukční čáry vzniklého magnetického pole. Zakresli do křížkem vyznačených bodů vektory magnetické indukce.



Blíže u vodiče je magnetické pole silnější \Rightarrow vektory magnetické indukce budou delší. Vektory magnetické indukce mají směr tečen indukčních čar.



Pedagogická poznámka: Předchozí příklad byl přidán dodatečně, jako reakce na obrovské problémy, které u magnetického pole s přechodem od indukčních čar k vektorům magnetické indukce žáci mají. V hodinách nezůstáváme u obrázků, ale na katedře vektory znázorňují pomocí kříd nebo tužek.

Př. 4: Vodič délky 8cm 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 5A.

$$B=0,012 \text{ T} \quad , \quad I=5 \text{ A} \quad , \quad l=8 \text{ cm}=0,08 \text{ m} \quad , \quad F_m=?$$

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

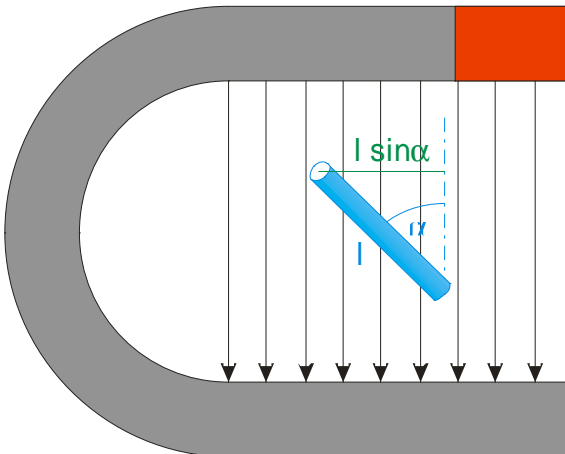
Na vodič bude působit magnetická síla o velikosti 0,0048 N.

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: $F_m = B \cdot I \cdot l_k = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$.

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

Př. 5: 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 N.

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

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

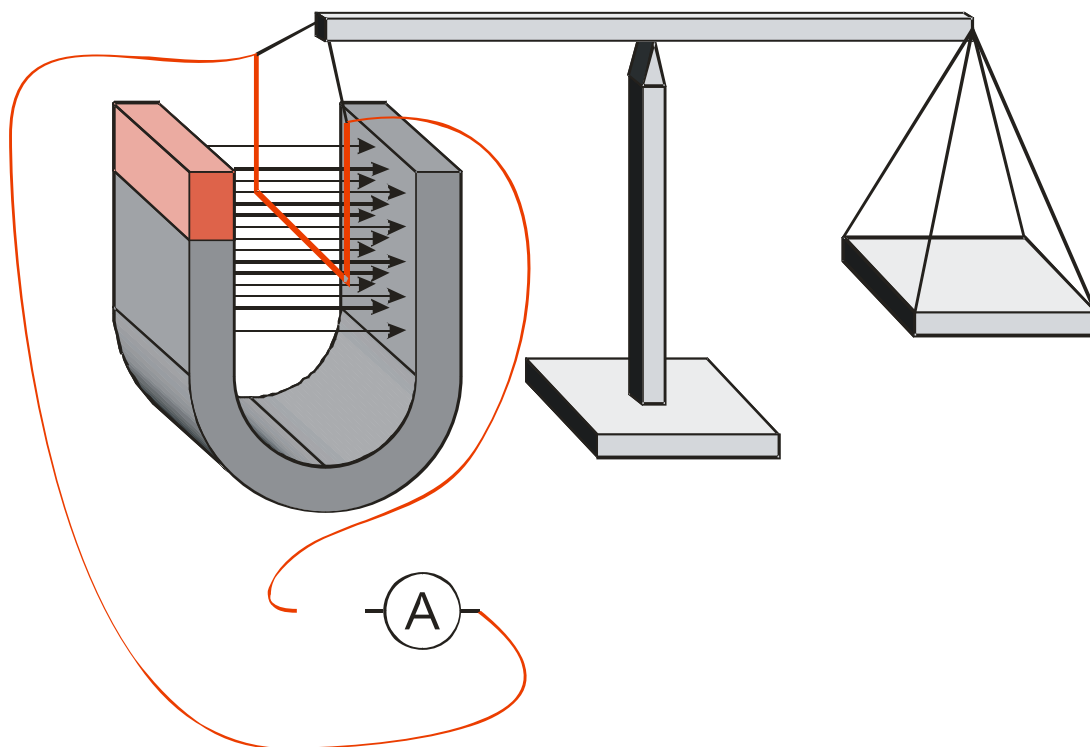
$$l = \frac{F_m}{B \cdot I \cdot \sin \alpha} = \frac{0,05}{0,05 \cdot 10 \cdot \sin 60^\circ} \text{ m} = 0,12 \text{ m}$$

Vodič musí mít délku 0,12 m.

Jak změříme B ?

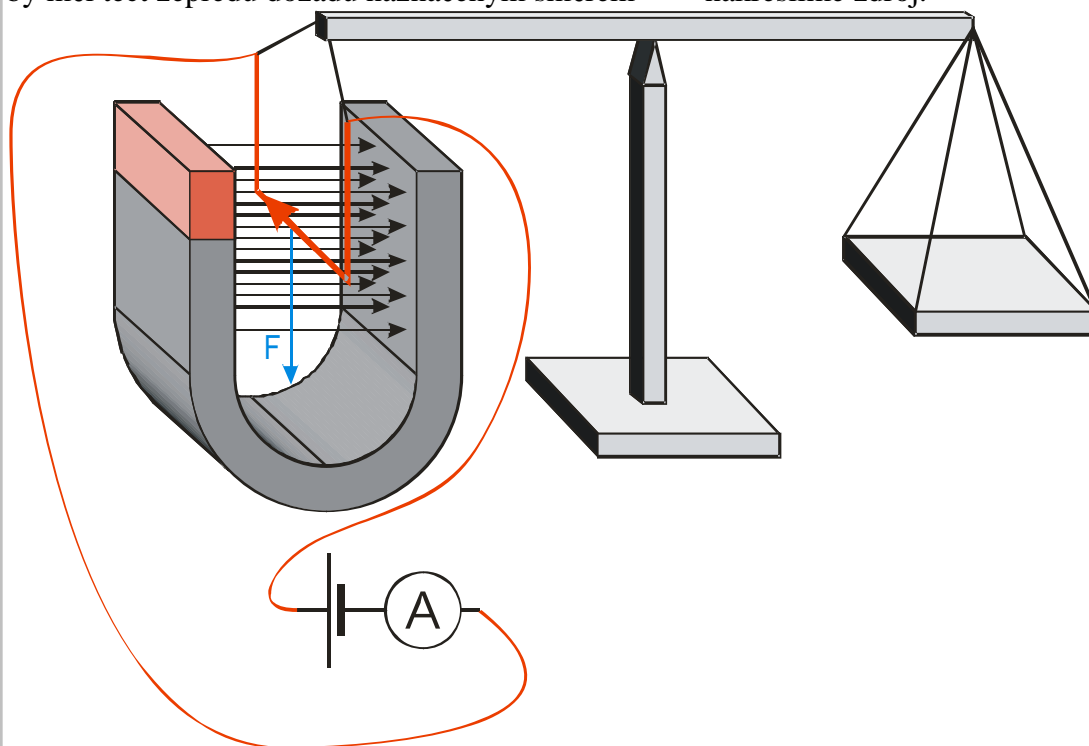
Například pomocí **proudových vah** – vah, kde je jedna z mističek nahrazena drátem připojeným k obvodu s ampérmetrem.

Př. 6: 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 pravé 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. 7: 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.

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

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

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

$$F_g = m \cdot g$$

$$F_m = F_g$$

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

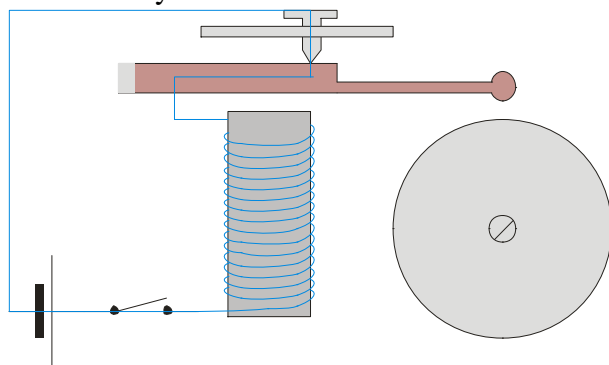
$$B = \frac{m \cdot g}{I \cdot l} = \frac{0,0015 \cdot 10}{2 \cdot 0,042} \text{ T} = 0,178 \text{ T}$$

Magnetická indukce měřeného pole má velikost 0,178 T.

Magnetická síla se kromě stejnosměrného motoru používá i v dalších zařízeních.

Elektrický zvonek

Př. 8: Na obrázku je schéma elektrického zvonku. Modrou čarou je vyznačen uzavřený elektrický obvod, šedě jsou vybarveny pevně připevněné části, červeně ke vybarveno železné kladívko. Vysvětli funkci zvonku.



Zapneme zvonek \Rightarrow v elektromagnetu se objeví magnetické pole a začne přitahovat kladívko \Rightarrow kladívko udeří do zvonku a zároveň rozevře obvod \Rightarrow obvodem přestane procházet elektrický proud \Rightarrow elektromagnet přestane přitahovat kladívko \Rightarrow kladívko se vrátí do své původní polohy a sepne znovu elektrický obvod \Rightarrow celý cyklus se opakuje.

Shrnutí: Sílu magnetického pole vyjadřujeme pomocí magnetické indukce.