

Laboratorní úloha č. 5 – Faradayovy zákony, tíhové zrychlení

Úkoly měření:

1. Měření na digitálním osciloskopu a přenosném dataloggeru LabQuest 2.
2. Ověřte Faradayovy zákony pomocí pádu magnetu skrz trubici se soustavou cívek.
3. Stanovte tíhové zrychlení g .

Použité pomůcky a přístroje:

Přenosný datalogger LabQuest 2, digitální osciloskop, trubice se soustavou cívek, propojovací vodiče, magnety.

Teorie:

Faradayovy zákony indukce

Michael Faraday (1791-1867) byl významný anglický fyzik a chemik. Jeho vědecká činnost je spojována především s elektřinou a magnetismem, ale stál za řadou objevů i v oblasti chemie. Roku 1831 vyslovil zákon, který pojednává o vzniku elektrického napětí v uzavřeném elektrickém obvodu, který je způsoben změnou magnetického indukčního toku. Tento jev se nazývá elektromagnetická indukce.

Co to tedy vlastně objevil?

Vezměme si uzavřený elektrický obvod a umístíme ho do magnetického pole. Pokud bude magnetické pole stacionární, tzn., nebude se měnit s časem a pokud se elektrický obvod nebude pohybovat, tak obvodem nebude procházet žádný elektrický proud.

Pokud se zdroj magnetického pole začne pohybovat, nebo smyčka obvodu se začne pohybovat nebo pokud se bude měnit magnetické pole, tak v obvodu bude procházet indukovaný elektrický proud a na cívce bude indukované elektrické napětí.

Můžeme tedy říct, že změnou magnetického pole v okolí cívky se v ní indukuje elektromotorické napětí a obvodem prochází indukovaný elektrický proud. Jeho směr je závislý na směru změny magnetického pole a orientaci pólů magnetů vůči cívce. Takže pokud budeme magnet k cívce přibližovat, bude se indukovat proud opačné polarity, než když budeme magnet (při stejné orientaci pólů magnetu) vzdalovat.

Experimentálně se zjistilo, že indukované napětí je závislé na rychlosti změny magnetického toku skrz smyčku.

Magnetický tok

Vezměme zdroj homogenního magnetického pole a umístíme do něj plochu S . Vektorový element plochy \mathbf{A} bude určen $\mathbf{A} = A\mathbf{n}$, kde A je obsah plochy S a \mathbf{n} je jednotkový normálový vektor. Magnetický tok danou plochou pak určíme jako:

$$\phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} = BA \cos(\varphi) \quad (1)$$

Kde φ je úhel, který svírají vektory \mathbf{B} a \mathbf{n} .

Analogicky pak magnetický tok ϕ_B plochou závitů cívky, ke které přibližujeme magnet, bude možné zapsat jako:

$$\phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \int_S B dA \cos(\varphi) \quad (2)$$

Kde \mathbf{B} - vektor magnetické indukce, $[B] = \text{T}$ (Tesla), ϕ_B - magnetický tok, $[\phi_B] = \text{Wb}$ (weber), φ - úhel, který svírají vektory \mathbf{B} a \mathbf{n} .

Podívejme se tedy na vzorec (2) a zkusme si uvést, jak můžeme měnit velikost magnetického toku. Může to být:

- časová změna velikosti magnetické indukce, tedy $B(t)$,
- změna velikosti plochy závitů cívky, tedy $A(t)$,
- změna velikosti úhlu, který svírá vektor magnetické indukce a normálový vektor plochy S , tedy $\varphi(t)$.

Výsledné elektromotorické napětí indukované na cívce bude pak dáno zápornou změnou magnetického toku v čase:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (3)$$

Pro cívku, která má N závitů, pak bude N krát větší:

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (4)$$

Uvažujme nyní o tom, že máme malé dynamo tvořené cívkou o N závitěch o stejné velikosti plochy A . Tato cívka je vložena do homogenního magnetického pole.

Potom bude **elektromotorické napětí indukované na cívce** rovno:

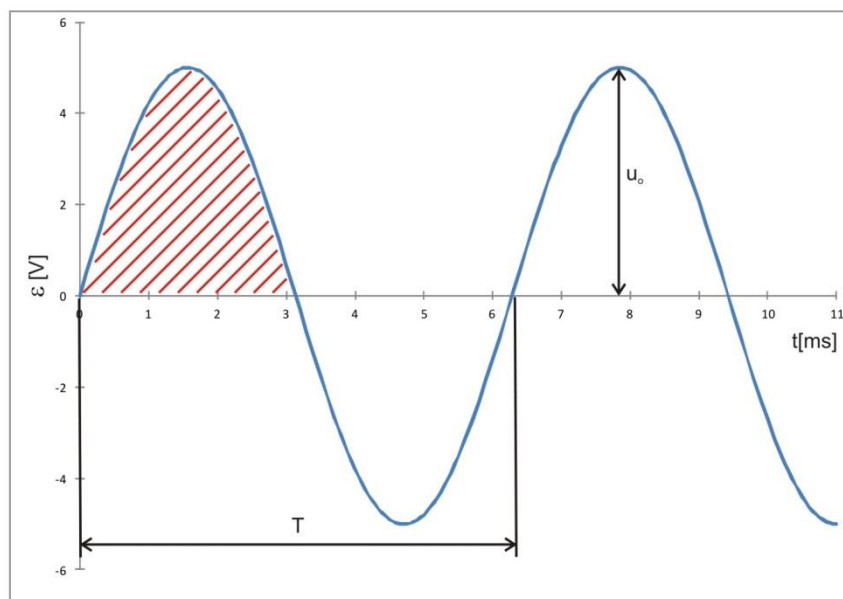
$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} = NBA\omega \sin(\omega t) = u_0 \sin(\omega t) \quad (5)$$

kde:

$$\phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} = BA \cos(\varphi) = BA \cos(\omega t) \quad (6)$$

a tedy:

$$\frac{d\phi_B}{dt} = -BA\omega \sin(\omega t) \quad (7)$$



Obr. 1 Závislost indukovaného elektromotorického napětí na čase.

Pokud bychom chtěli určit velikost vyšrafované plochy, tedy plochu pod křivkou udávající velikost indukovaného elektromotorického napětí na čase, viz obr. 1, využijeme vzorec (8):

$$\int_0^{T/2} \varepsilon dt = \int_0^{T/2} NBA\omega \sin(\omega t) dt = 2NBA = konst. \quad (8)$$

Tíhové a gravitační zrychlení

Podíl síly působící na těleso a hmotnosti tělesa je dle 2. Newtonova zákona definováno jako jeho zrychlení. Pokud danou silou je síla gravitační, tak se tedy bude jednat o gravitační zrychlení \mathbf{a}_g .

Pokud ale budeme uvažovat těleso v gravitačním poli Země, tak kromě gravitační síly na něj bude ještě v důsledku rotace Země působit i odstředivá síla, tedy kromě gravitačního zrychlení \mathbf{a}_g musíme uvažovat i odstředivé zrychlení \mathbf{a}_o . Výsledné tíhové zrychlení v daném bodě je pak dáno jejich vektorovým součtem:

$$\mathbf{g} = \mathbf{a}_g + \mathbf{a}_o \quad (9)$$

Analogicky je možné zapsat rovnici pro výpočet tíhové síly:

$$\mathbf{F}_G = \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_o \quad (10)$$

Můžeme tedy říct, že tělesa (hmotné body) na Zemi se nacházejí v tíhovém poli Země a tedy při zakreslování sil působících na těleso (hmotný bod), nezakresluje gravitační, ale tíhovou sílu. Dokonce i třeba ve stavebnictví neměříme pomocí olovnice směr gravitační síly, ale směr síly tíhové.

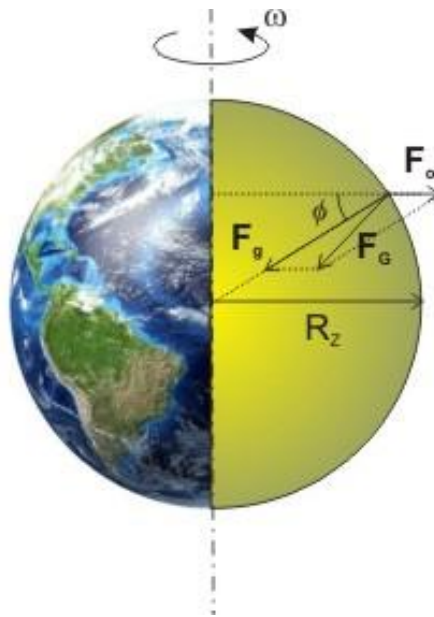
Velikost tíhové síly není ve všech místech na povrchu Země stejná. Z obr. 2 je vidět, že velikost tíhové síly bude záviset na zeměpisné šířce a nadmořské výšce. Její velikost a tedy i velikost tíhového zrychlení (ve stejné nadmořské výšce, např. při hladině moře) bude největší

na zeměpisných pólech a nejnižší na rovníku. Na zemském pólu je to při hladině moře $g = 9,832 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a na rovníku $g = 9,780 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Samozřejmě, že toto zrychlení nezahrnuje odpor prostředí, tedy v našem případě vzduchu.

Pro použití ve výpočtech budeme užívat tzn. *normální tíhové zrychlení* g_n , které má velikost $g_n = 9,80665 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Toto zrychlení odpovídá tíhovému zrychlení pro 45° zeměpisné šířky u hladiny moře. Pokud bychom si chtěli ověřit tuto hodnotu, tak využijeme vzorec:

$$g = g_n (1 - 2,644 \cdot 10^{-3} \cos(2\varphi))(1 + 3,14 \cdot 10^{-3} h) \quad (11)$$

Kde: φ - zeměpisná šířka, h - nadmořská výška, $[h]=\text{m}$.



Obr. 2 Tíhová a gravitační síla.

Pracovní postup:

1. Seznamte se s ovládáním dataloggeru LabQuest 2 a digitálního osciloskopu. Vypnutí/zapnutí přístroje, nastavení požadovaného měření, způsob zapojení přístroje, záznam dat a práce se senzory.
2. Připojení dataloggeru respektive osciloskopu pomocí propojovacích vodičů k trubici se soustavou cívek.
3. Zapnutí přístroje, kalibrace, nastavení grafického záznamu měření.

Ověření Faradayových zákonů indukce:

4. Vhození magnetu do trubice a získání záznamu indukovaného elektromotorického napětí na čase průletu magnetu skrz jednotlivé cívky v trubici. Grafický záznam je možné vidět na obr. 4 v příloze.
5. Ověřte, zda plochy pod křivkou závislosti elektromotorického napětí na čase jsou stejně velké pro všechny cívky trubice. V případě použití dataloggeru využijte vestavěný software.
6. Ověření proveďte pro 10 ploch závislosti indukovaného elektromotorického napětí na čase.
7. Z naměřených velikostí ploch vypočítejte střední hodnotu a její nejistotu.

Určení tíhového zrychlení:

8. Ze získaného záznamu závislosti elektromotorického napětí na čase určete časové okamžiky t_1 až t_n průletu magnetu jednotlivými cívkami trubice, kde n označuje počet jednotlivých cívek na trubici. Vzdálenost mezi jednotlivými cívkami je 10 cm.
9. Pro určení tíhového zrychlení g využijte rovnici pro padající tělesa v tíhovém poli Země. Dráha těchto pohybujících se těles je dána rovnicí:

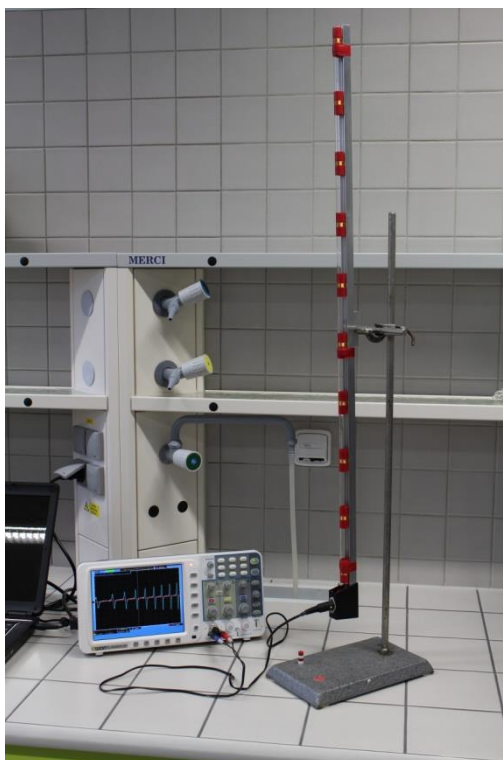
$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (12)$$

10. Sestrojte XY graf závislosti dráhy pádu magnetu na čase průletu jednotlivými cívkami. Na osu Y vyneste vzdálenosti jednotlivých cívek. Na osu x pak druhou mocninu času průletu magnetu danými cívkami.
11. Dle rovnice (12) je zřejmé, že pro takto sestavený graf bude vhodnou aproximací lineární regrese procházející počátkem souřadného systému daná rovnicí $y = kx$.
12. Určete směrnici lineární regrese včetně její nejistoty. Ze směrnice pak vypočítejte velikost tíhového zrychlení g . Stanovte chybu měření.
13. Výsledky diskutujte a vyslovte závěry.

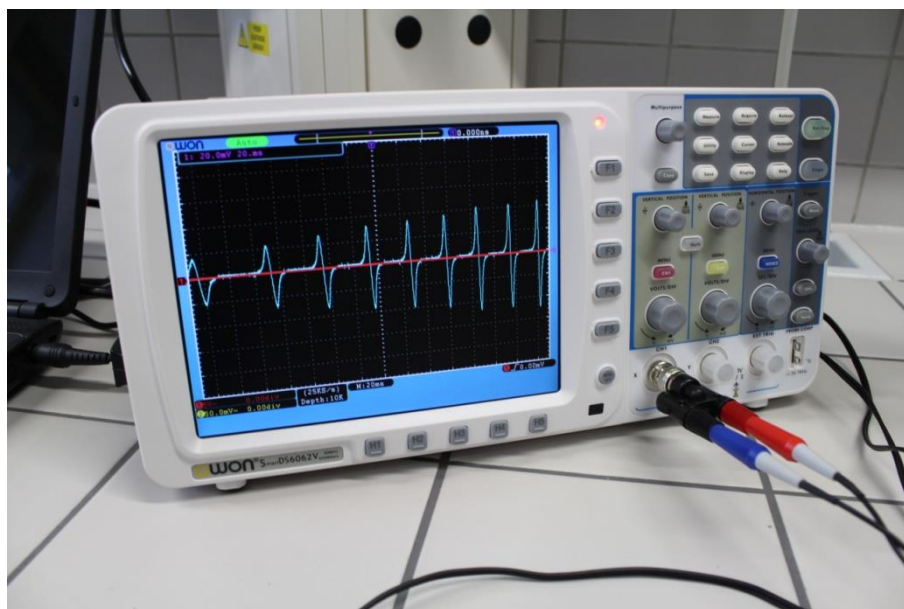
Použitá literatura:

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika, VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, (2000).

Příloha: Použitá měřící aparatura



Obr. 3 Měřící aparatura pro ověření Faradayových zákonů indukce.



Obr. 4 Detail naměřených dat na digitálním osciloskopu.