

Měření rychlosti světla z vakuových konstant

Online: <http://www.sclpx.eu/lab4R.php?exp=4>

Vakuovými konstantami rozumíme permitivitu a permeabilitu vakua. Tyto konstanty jsme již měřili v rámci laboratorních cvičení ve třetím ročníku, takže tento experiment bude do jisté míry podobný experimentu 3.2 (*Měření permitivity a permeability vakua*).

Úvod

Jak plyne z teorie [20], vzájemný vztah mezi rychlostí světla c , permitivitou vakua ε_0 a permeabilitou vakua μ_0 je dán vztahem (4.1.1):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (4.1.1)$$

Tento vztah současně potvrzuje i známou skutečnost, že světlo je elektromagnetické vlnění.

Permitivitu vakua můžeme určit ze vztahu (4.1.2):

$$\varepsilon_0 = \frac{C d}{S} \quad (4.1.2)$$

Známe-li tedy kapacitu deskového kondenzátoru C , plošný obsah jeho desek S a jejich vzdálenost d , můžeme ze vztahu (4.1.2) dopočítat hodnotu permitivity.

Pro výpočet permeability vakua vyjdeme ze vztahu (4.1.3):

$$\mu_0 = \frac{2mgl^2}{\mu_r N^2 I^2 S}, \quad (4.1.3)$$

kde m je zdvihová hmotnost měřená digitálními váhami, $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, l je délka cívky měřená posuvným měřidlem, N je počet závitů cívky, I je efektivní hodnota střídavého proudu procházejícího cívkou a měřeného multimetrem VA18B v režimu ampérmetru, S je plocha řezu a μ_r je relativní permeabilita jádra cívky.

Nejistotu v měření rychlosti světla c vypočítáme podle vztahu (4.1.4):

$$\Delta c = \bar{c} \left(\frac{\Delta \varepsilon_0}{2\bar{\varepsilon}_0} + \frac{\Delta \mu_0}{2\bar{\mu}_0} \right) = \frac{\bar{c}}{2} \left(\frac{\Delta \varepsilon_0}{\bar{\varepsilon}_0} + \frac{\Delta \mu_0}{\bar{\mu}_0} \right) \quad (4.1.4)$$

Pomůcky: multimetr VA18B, cívka $N = 600$ závitů, $l = 44$ mm, $R = 4,2 \Omega$, $L = 6$ mH, laboratorní zdroj ss napětí, digitální kuchyňské váhy, železný pásek nebo kruh o tloušťce 0,1 mm, izolepa, list papíru, deskový kondenzátor, mikrometr, stativový materiál

Postup práce

Před vlastním měřením si zopakujte měření permitivity a permeability vakua podle pokynů uvedených v experimentech 3.1 a 3.2. Uspořádání experimentu při měření permitivity je na obrázku 4.1.1 a realizace měření permeability na obrázku 4.1.2.

Pomocí multimetru VA18B změříme několikrát kapacitu deskového kondenzátoru, vzdálenost desek uvažujeme rovnou tloušťce papíru, kterou změříme mikrometrem. Posuvným měřidlem změříme rozměry deskového kondenzátoru a vypočítáme obsah jedné desky S . Z naměřených hodnot vypočítáme ze vztahu (4.1.2) velikost permitivity vakua.

Analogicky podle postupu uvedeného v experimentu 3.1 a 3.2 změříme pro různé zdvihové hmotnosti velikost proudu procházejícího cívkou a ze vztahu (4.1.3) vypočítáme hodnotu permeability.

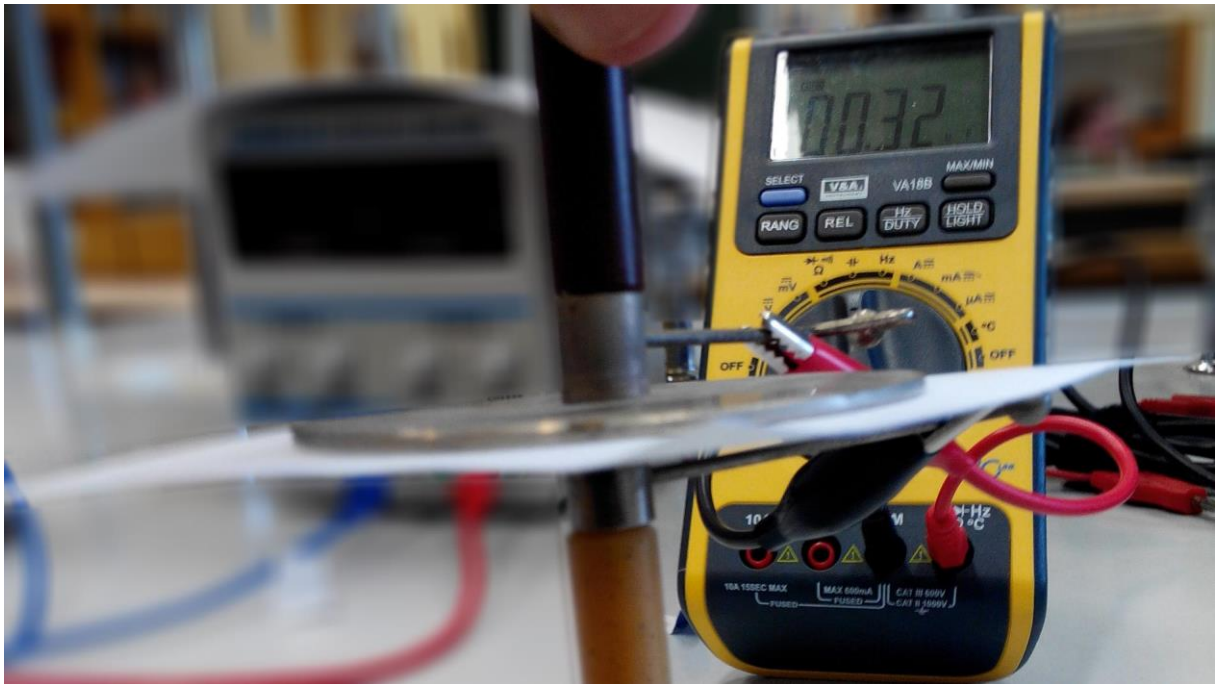
Dále podle vztahu (4.1.1) provedeme výpočet rychlosti světla a podle vztahu (4.1.4) určíme nejistotu měření.

Na závěr vytvoříme z vypočítaných hodnot rychlosti světla graf, který doplníme o regresní analýzu (*Přidat spojnicí trendu*).

Námi naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.1 a graf vytvořený na základě této tabulky je na obrázku 4.1.3.

Tabulka 4.1 Měření rychlosti světla

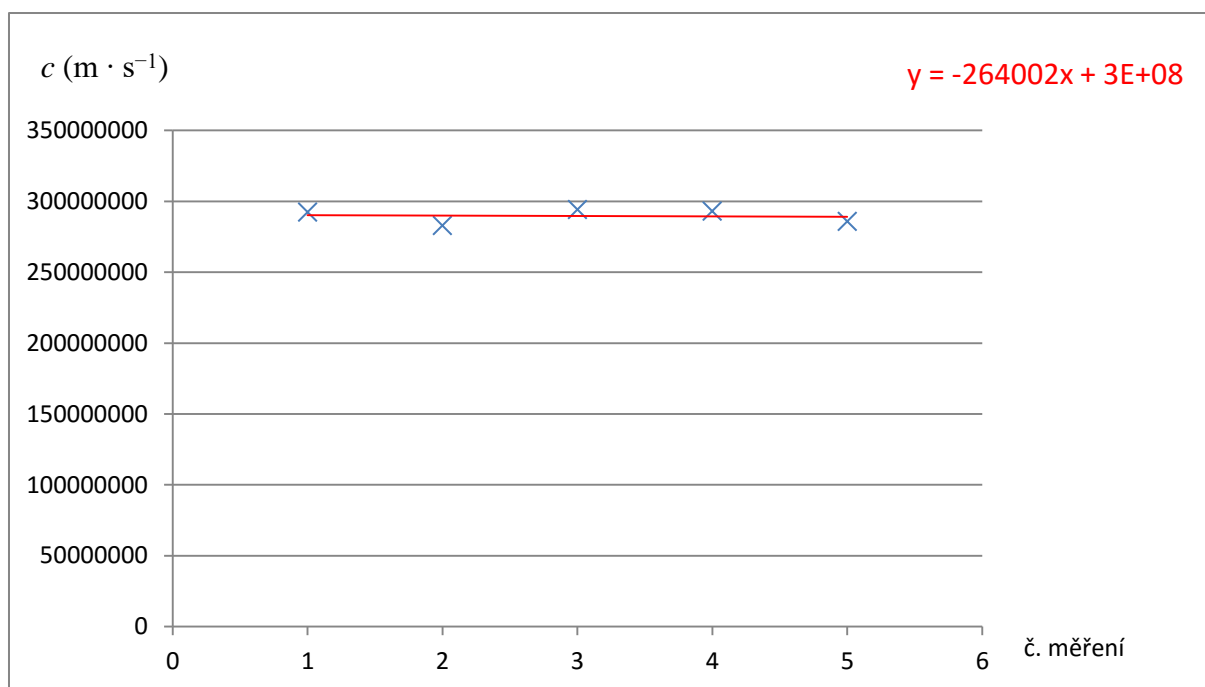
$\varepsilon_0 (\cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1})$	$\mu_0 (\cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1})$	$c (\cdot 10^8) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
8,8	13,3	2,9
8,8	14,2	2,8
9,1	12,7	2,9
9,1	12,8	2,9
8,8	13,9	2,9



Obrázek 4.1.1 Uspořádání experimentu – Měření rychlosti světla z vakuových konstant – měření permitivity



Obrázek 4.1.2 Uspořádání experimentu – Měření rychlosti světla z vakuových konstant – měření permeability



Obrázek 4.1.3 Graf vypočítaných hodnot rychlosti světla – Měření rychlosti světla z vakuových konstant

Závěr

Průměrná hodnota rychlosti světla vypočítaná na základě údajů uvedených v tabulce 4.1 má velikost $c = (2,9 \pm 0,2) \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Relativní nejistota měření je $\delta c = \frac{0,2}{2,9} \doteq 7 \%$.

Průměrná hodnota bez zaokrouhlení činí $c = 289\,655\,091 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Odchylka od tabulkové hodnoty $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je cca 3 %.

Lineární regresní přímka na obrázku 4.1.3 poskytuje svojí konstantní částí přibližnou hodnotu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Všechny dosažené výsledky poměrně uspokojivě korespondují s tabulkovou hodnotou a v rámci laboratorního cvičení ve školní laboratoři lze i relativní nejistoty měření považovat za vyhovující.

Otázky na závěr

1. Jak můžeme změřit rychlost světla pomocí mikrovlnné trouby?
2. Kdo první ve známé historii fyziky změřil rychlost světla a k jaké hodnotě dospěl?