

Měření rychlosti světla

Blechta, V. – gymn. Jeseník

Burian, I. – gymn. Vídeňská 47, Brno

Labounek, R. – gymn. Jiřího Wolкера, Prostějov

Raiskup, P. – SPŠ Uherské Hradiště

luis.felipe@email.cz, iburian@gmail.com, rene_labounek@centrum.cz,

Raiskup@seznam.cz

Abstrakt:

Naše práce se zabývá rychlostí světla a samotným měřením rychlosti světla. Pro vypočítání využijeme Foucaultovu metodu rotujícího zrcátka a stojatého mikrovlnného vlnění v mikrovlnné troubě.

Úvod

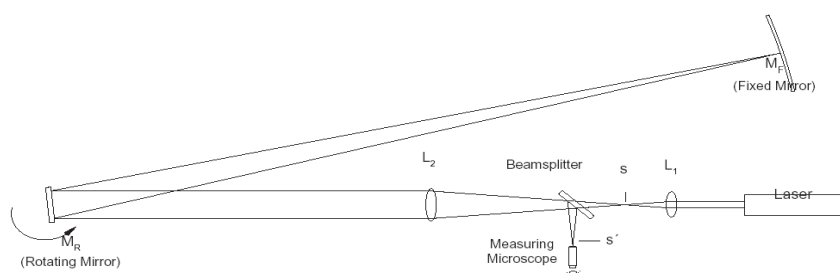
Měření rychlosti světla již dávno není nepředstavitelným činem, ačkoli tomu tak bylo velmi dlouho. Touhu po vědění poprvé zkusil překonat Galileo Galilei, který však se svým měřením nebyl zrovna úspěšný, protože vzdálenost dvou kopců, mezi nimiž chtěli změřit dobu letu světla, byla (nad jejich představu) malá. Nyní už je však praxe úplně jiná a ke změření rychlosti světla využíváme nové, přesnější a moderní technologie.

Základní typy měření by se daly rozdělit na pozemské a astronomické. My se samozřejmě budeme věnovat metodám pozemským, konkrétně Foucaultově metodě a metodě měření pomocí mikrovlnné trouby. Metoda Foucaultova je oproti mikrovlnné troubě podstatně přesnější, ale je zato velmi náročná na čas a pomůcky. Naším úkolem je taktéž porovnat skutečnou rychlost světla, která je změřena dnes již s přesností na metry.

A) Metoda rotujícího zrcátka (Foucaultova metoda)

Tuto metodu pro měření rychlosti světla navrhl roku 1838 Arago a realizoval ji roku 1850 Foucault. Později tuto metodu přepracoval a dovedl k dokonalosti Michelson.

Při Foucaultově metodě, kterou lze upravit i laboratorně, světelný paprsek



vycházející z laseru, prochází čočkou a polopropustným zrcadlem a dopadá na vysoce rychle rotující zrcadlo, kolmé

k rovině náčrtku, poté se odráží do pevného zrcadla a zpět do rotujícího zrcadla, které zastihne v poněkud pootočené poloze a paprsek se zobrazí v okuláru měřicího mikroskopu, kde se zjišťuje odchylka paprsku od původního směru. Zároveň zaznamenáváme frekvenci otáčení rotujícího zrcadla. Jelikož měříme ve vnitřních prostorách a vzdálenost zrcadel je cca 10 metrů, je jasné, že odchylku měříme s přesností na setiny milimetru. Poté pro rychlost světla

platí vztah $^{(1)} c = \frac{8\pi AD^2(f_1 + f_2)}{(D+B)(s_2 - s_1)}$ kde vzdálenost A je L_1 až L_2 bez ohniskové vzdálenosti

čočky L_1 . Vzdálenost D je vzdálenost zrcadel (M_R a M_F). B je vzdálenost druhé čočky L_2 a rotujícího zrcadla M_R . Δs je vychýlení paprsku pozorovatelné v mikroskopu.

Sestavíme aparaturu dle obrázku, kdy pevné zrcadlo umístíme co nejdál, v závislosti na výkonu laseru. Paprsek musí přesně směřovat zpět do rotačního zrcadla.

Po sestavení měřicí aparatury a přesném vycentrování paprsku můžeme začít měřit odchylku paprsku od původního směru (v obou směrech otáčení zrcadla).

Výsledky měření:

Naměřili jsme tyto vzdálenosti:

$$A = 246 \text{ mm}$$

$$B = 487 \text{ mm}$$

$$D = 9\,945 \text{ mm}$$

Tabulka 1.: Měření Foucaultovou metodou

č. měření	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]	s_1 [mm]	s_2 [mm]	Δs [mm]	c [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
1	1380	1350	11.18	11.73	0.55	3.122380E+08
2	1388	1346	11.17	11.79	0.62	2.773912E+08
3	1394	1357	11.17	11.73	0.56	3.090213E+08
...						...
48	1393	1344	11.17	11.75	0.58	2.968469E+08
49	1391	1344	11.15	11.74	0.59	2.916024E+08
50	1397	1352	11.17	11.75	0.58	2.981484E+08

Pomocí vztahu (1) jsme vypočítali rychlost světla pro 50 různých měření. Z těchto 50 hodnot jsme udělali aritmetický průměr a rychlost světla určili jako: $c_n = 3,000878 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Poté jsme si vypočítali absolutní chybu měření a naměřená rychlost světla nám vyšla:

$$c_n = (3,00 \pm 0,06) \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$c_s = 299\,792,458 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1} = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \text{ (skutečná rychlost)}$$

Porovnali jsme hodnotu námi naměřenou a skutečnou. Dopustili jsme se chyby měření 0,12 %

B) Metoda mikrovlnná

Principem metody, kterou si po určení rychlosti světla zvolili Essen a Gordon-Smith, bylo měření vlnové délky mikrovlnného elektromagnetického záření v dutinovém rezonátoru tvaru kruhového válce, jehož průměr byl přibližně 74 mm a délka asi 85,6 mm. Frekvence

mikrovlnného záření byla volena v rozsahu asi 3GHz až 5GHz a byla měřena pomocí křemenného oscilátoru pracujícího při 100 kHz, jehož frekvence byla známa s relativní chybou menší než 10^{-8} . Jako přijímač byl používán mikroheterodynní vlnoměr. Měření probíhá tak dlouho, dokud nenastane rezonance.

Jelikož stejných podmínek jako měli Essen a Gordon-Smith, museli jsme se spokojit s podmínkami daleko horšími.

Pomůcky: Mikrovlnná trouba, termopapír

Postup:

Protože v mikrovlnné troubě jsou stojaté vlny a mikrovlnná energie má největší sílu v amplitudě vlny a v uzlech se téměř neprojevuje, musíme zamezit pohybu materiálu (termopapíru) v mikrovlnné troubě. Proto vyjmeme otočný talíř a pro znázornění délky půlvlny (vzdálenost interferenčních bodů) použijeme navlhčený termopapír, který je velmi citlivý na vyšší teplotu. Navlhčený, protože mikrovlny rozkmitávají molekuly vody, tím se zvyšuje teplota, která se projeví zčernáním v interferenčních bodech. Mikrovlnná trouba musí být spuštěna jen na velmi krátký časový interval, aby nedošlo ke ztmavnutí celého papíru.

Rychlost světla poté vypočítáme pomocí vztahu ⁽²⁾ $c = \lambda \cdot f$

Tabulka 2: Měření pomocí mikrovln

Číslo měření	$\lambda/2$ [cm]	λ [cm]	c [$m \cdot s^{-1}$]
1	6.60	13.2	3.23E+08
2	7.90	15.8	3.87E+08
3	7.20	14.4	3.53E+08
4	7.80	15.6	3.82E+08
5	6.80	13.6	3.33E+08
6	7.90	15.8	3.87E+08
7	6.80	13.6	3.33E+08
8	7.00	14.0	3.43E+08
9	6.70	13.4	3.28E+08
10	6.20	12.4	3.04E+08
Průměr	7.09	14.18	3.47E+08

$$c_s = 299\,792,458 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(skutečná rychlost)

Porovnali jsme hodnotu námi naměřenou a skutečnou. Dopustili jsme se chyby měření 16,1%. Ta je způsobena špatnými podmínkami uvnitř mikrovlnné trouby, kde je stojaté vlnění rušeno spirálou od grilu. Určili jsme si absolutní průměrnou chybu měření a naměřená rychlost světla nám tak vyšla:

$$c_n = (3,5 \pm 0,2) \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Shrnutí

Těmito pokusy jsme si ověřili praktické využití Foucaultovy metody a metody mikrovlnné. Ze zkušeností lze říci, že Foucaultova metoda je na období, kdy byla vynalezena velice vyspělá a přesná, za to metoda mikrovln je pro aktuální podmínky velice nepřesná, zato je možné ji uskutečnit i v domácích podmínkách.

Poděkování

Naše poděkování patří především Fakultě jaderného a fyzikálního inženýrství ČVUT, která nám umožnila svými prostředky rozvinout naše znalosti a zkušenosti v oblasti fyziky, poděkování patří také našim fyzikářům, kteří nás naučili dívat se na fyziku s úctou. Zvláštní dík patří Davidu Koňáříkovi, Bc. – našemu supervizorovi. Děkujeme všem sponzorům a lidem, kteří se podíleli na průběhu Fyzikálního týdne 2005.

Reference:

- [1] BROŽ, J. - ROSKOVEC, V. : *Základní fyzikální konstanty*, Praha:SPN,1988, str.45 až 56
- [2] PAVLÍČEK, M. : *Problém rychlosti světla*, <http://martin184.webpark.cz/svetlo.htm>
- [3] KAIZR, V.:, ALDEBARAN BULLETIN, http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_s1.html
AGA, 2004, *Měření rychlosti šíření světla*