

Měření rychlosti světla Foucaultovou metodou

L. Peltan;

Gymnázium, Česká 64, České Budějovice; libcha@seznam.cz

P. Bezstarosti;

Gymnázium, Pulická 779, Dobruška; kresice1@centrum.cz

P. Trudič;

SPŠ Hronov, Hostovského 910, Hronov; trudic.pavel@centrum.cz

R. Šaroun ;

Gymnázium, Jana Masaryka 1, Jihlava; r.saroun@centrum.cz

Abstrakt:

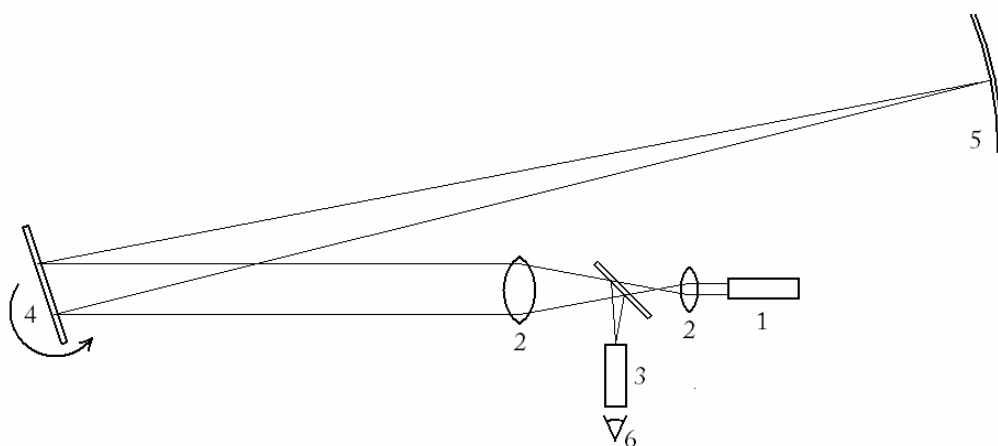
Měření rychlosti světla provádíme dvojným odrazem od otáčejícího se zrcátka, kde úhel jeho pootočení mezi jednotlivými odrazy je determinován dobou, uplynulou mezi nimi. Cílem je stanovit rychlost světla ve vzduchu. Jako emitor elektromagnetického záření slouží He-Ne laser.

1 Úvod

Rychlost světla byla pro lidstvo od počátků vědeckých bádání velikou záhadou. Někteří vědci dokonce tvrdili, že není konečná. První zaznamenané pokusy o změření této rychlosti prováděl již Galileo Galilei – ve vzdálenosti mezi dvěma kopci měřil čas, za který světlo tuto dráhu urazí. Tato metoda však nebyla moc přesná. S lepšími výsledky přišel o 200 let později Fizeau jenž provedl známý pokus s rotujícím ozubeným kolem. Měřením rychlosti světla se dále zabýval francouzský fyzik Foucault, jehož metodu s rotujícím zrcátkem použil i náš tým. Nejprve ukážeme aparaturu pro měření, poté vysvětlíme postup naší práce a nakonec si ukážeme výsledky.

2 Aparatura pro měření

Aparaturu pro měření shrnuje stručné schéma.

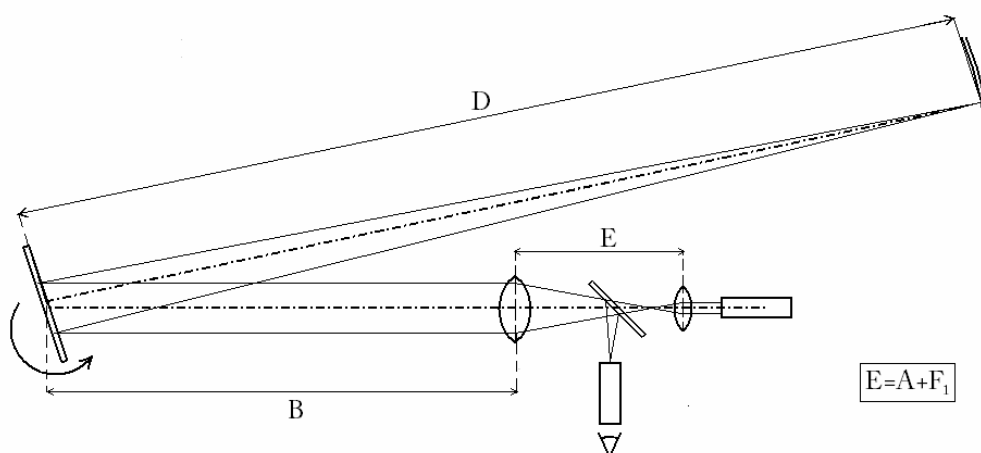


1. He-Ne laser; 2. Čočky pro zaostření; 3. Měřící mikroskop; 4. Rotující zrcátko; 5. Statické zrcadlo; 6. Pozorovatel

Elektromagnetické záření je emitováno He-Ne laserem, dále prochází mezi dvěma čočkami, mezi nimiž je také umístěn měřící mikroskop. Dále se při vhodném pootočení rotujícího zrcátka od tohoto odrazí na druhé, statické zrcadlo, od kterého se odrazí zpět na to rotující. Nakonec je s určitým úhlem přes druhou čočku vysláno do mikroskopu, na kterém se naměří výsledná výchylka.

Technické parametry jednotlivých zařízení: laser – výkon 1mW; čočky – ohniskové vzdálenosti 48 resp. 252 mm; mikroskop – zvětšení 15x; otáčivé zrcátko – max. otáčky cca 1300s^{-1} .

Pro naše měření jsou také podstatné některé vzájemné vzdálenosti jednotlivých součástí aparatury.



Naměřené hodnoty:

Vzdálenost zrcadel:

$D = 6550\text{mm}$

Vzdálenost mezi 2. čočkou a otáčivým zrcadlem:

$B = 513\text{mm}$

Vzdálenost čoček:

$E = 315\text{mm}$

Tudíž

$A = 267\text{mm}$

3 Postup měření

Nejprve bylo třeba sestavit aparaturu pro měření. Obtížné bylo přesně zaměřit paprsky laseru tak, aby se odrazily správně od zrcadel a „trefily cíl“. Také je byla potřeba dobře zaostřit. Poté jsme již roztočili zrcátka. Na stínítku mikroskopu bylo vidět spoustu bodů, jen jeden z nich však zmizel, přerušili-li jsme paprsek mezi zrcadly. Poté už stačilo nastavit osový kříž mikroskopu na tento bod a z měrného šroubu odečíst vzdálenost (s). Druhou hodnotou každého měření byla frekvence otáček zrcátka (f).

Rychlost světla se pak vypočítá vždy ze dvou měření při různých (nebo protisměrných) otáčkách zrcátka. A sice podle vztahu:

$$c = 8\pi AD^2 \frac{(f_1 - f_2)}{((D+B)(s_1 - s_2))}$$

Kde: c – rychlost světla
 A, B, D – délky (viz výše)
 f_1, f_2 – frekvence otáčení zrcátka
 s_1, s_2 – naměřené délky na mikroskopu

Výsledky měření shrnuje následující tabulka (hodnoty ve sloupci c se vztahují vždy ke 2 nejbližším ve sloupcích o a s):

| o (s^{-1}) | s (mm) | c ($mm \cdot s^{-1}$) | odchylka c | |
|------------------|---------------|---------------------------|--------------|------------|
| 1300 | 13,05 | 2,9216E+11 | 5343778095 | |
| -1352 | 12,68 | 3,0214E+11 | 4639905534 | |
| 1020 | 13,00 | 3,0489E+11 | 7391271037 | |
| 646 | 12,95 | 2,8261E+11 | 1,4891E+10 | |
| 1062 | 13,01 | 3,356E+11 | 3,8098E+10 | |
| 1309 | 13,04 | 2,8436E+11 | 1,3139E+10 | |
| -1342 | 12,66 | 2,8797E+11 | 9530039920 | |
| 1272 | 13,03 | 2,9028E+11 | 7224448351 | |
| -722 | 12,75 | | | odchylka % |
| | průměr | 2,975E+11 | 1,2532E+10 | 4,212514 |

Jak je vidět, naměřená rychlost světla nám vyšla $2,975 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$ $\pm 1,2532 \cdot 10^7 \text{ms}^{-1}$. Průměrná odchylka je asi 4,2%.

4 Diskuse

Naměřili jsme rychlost světla ve vzduchu, ionizovaném vědeckým zápallem a zahuštěném značným množstvím vydýchaného oxidu uhličitého. Naměřená hodnota je samozřejmě menší než tabulková pro rychlost světla ve vakuu. Pokus se tedy vydařil. K chybám při měření zřejmě příliš nedocházelo, neboť průměrná odchylka je velmi malá. Systematické chyby se podařilo odstranit vypuštěním řádově odlišných výsledků z tabulky. Vzhledem k obtížnosti správného nastavení celé aparatury je to výsledkem až překvapivě dobrý. Časová náročnost samotného měření nebyla velká, ale již zmíněné správné nastavení a nalezení optimálního způsobu hledání oné „správné tečky“ na stínítku trvalo několik hodin.

5 Shrnutí

Sestavili jsme aparaturu podle schématu a po přesném zaměření, zaostření a zkalibrování optické soustavy měřili rychlost světla ve vzduchu na základě úhlu pootočení rychle se otáčejícího zrcátka za dobu, za kterou paprsek elektromagnetického záření urazí dvojnásobek vzdálenosti mezi zrcadly. Výsledná rychlost byla $2,975 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ s odchylkou menší než 5 %.

6 Poděkování

V první řadě děkujeme těm, kteří zastřešili, organizačně i finančně, náš pokus i celý Fyzikální týden, tedy Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze, v druhé řadě našemu supervizorovi Bc. Davidu Koňáříkovi za moudré rady, bez kterých by náš pokus nejspíš nebyl úspěšný, neboť zkušeným okem našel onen „bod“, dále Maryle, Vojtovi, dalším nám neznámým profesorům a ředitelům a dalším, a všem, kdo nám nějakým způsobem pomohli, ať chtěně, či omylem.

7 Reference:

- [1] *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model OS-9261A*
PASCO scientific, 1989
- [2] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/192874-rychlost-svetla>
- [3] http://cs.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei