

Měření rychlosti světla

M. Růžek, T. Motal, R. Fejt
Fakulta Jaderná a Fyzikálně Inženýrská ČVUT
michal.ruzek@email.cz, toasmotal@yahoo.com,
radekfejt@seznam.cz

Abstrakt:

Člověk by neměl věřit všemu, co si kde přečte, ale měl by pochybovat a klást si otázky. Rychlost světla je hodnota, kterou si z našich každodenních zkušeností netroufáme ani odhadnout, proto jsme se rozhodli prozkoumat různé metody jejího měření a některé si vyzkoušet i v praxi.

1 Úvod

Pokusili jsme se změřit rychlost světla pomocí laboratorního přístroje využívající foucaultovu metodu měření světla. Výsledky jsme hodlali přednést na fyzikálním semináři. Získání byť nepřesných výsledků bylo nutné dosáhnout v nevelkých podmínkách fyzikálního praktika. Samotné nastavení přístroje byla pro nás velká výzva, která se bohužel ukázala jako těžko zdolatelná. Doplnkem k našemu měření na zmíněném laboratorním přístroji byl pokus změřit rychlost světla pomocí mikrovlnné trouby, ve které se při provozu vytváří stojaté vlny mikrovlnného záření. Tento pokus je z mnoha důvodů značně zatížen chybou, přesto byly naše výsledky hmatatelnější než u laboratorního pokusu.

2 Tělo přispevku

Metody měření rychlosti světla

Již v raných dobách lidské civilizace si lidé všímali, že věci se pohybují, že potřebují určitý čas, aby překonaly jistou vzdálenost. Platilo to nejen pro hmotná tělesa, ale například i pro zvuk. Lidé mohli snadno pomocí ozvěny od vzdálené skalní stěny rozpoznat, že zvuk se šíří konečnou rychlostí. U světla ovšem byla situace jiná. Nebylo možné v běžných podmínkách stanovit tuto rychlost. Pro obyčejného pozorovatele se zdá, že se světelný signál dostane kamkoli okamžitě. Proto po celý starověk i středověk trval názor, že světlo se šíří nekonečnou rychlostí. Řecký filosof *Epikúros* se prý trefně vyjádřil, že světlo se pohybuje rychlostí myšlenky.

První, kdo zpochybnil nekonečnost rychlosti světla byl *Galileo*. Ten chtěl změřit rychlost světla pomocí zakrývání dvou luceren umístěných na protilehlých kopcích. Metoda to sice byla správná, ale Galileo zdaleka neměl prostředky k tomu, aby mohl dosáhnout hmatatelných

výsledků.

Historicky první, kdo alespoň přibližně určil rychlost světla byl dánský astronom *Romer*, který v roce 1675 určil tuto rychlost pomocí sledování změn dob zákrytu měsíce Io za Jupiterem. Tato doba byla jiná, pokud Země letěla směrem k Jupiteru a jiná, pokud letěla směrem od Jupiteru.

Další, kdo využil pohybu Země na oběžné dráze byl anglický astronom *Bradley*, který o sto let později zjistil, že rychlost světla jde zjistit z aberace stálic. Stálice se zdají být trochu vychýleny ze svých poloh, pokud se dostanou do zenitu.

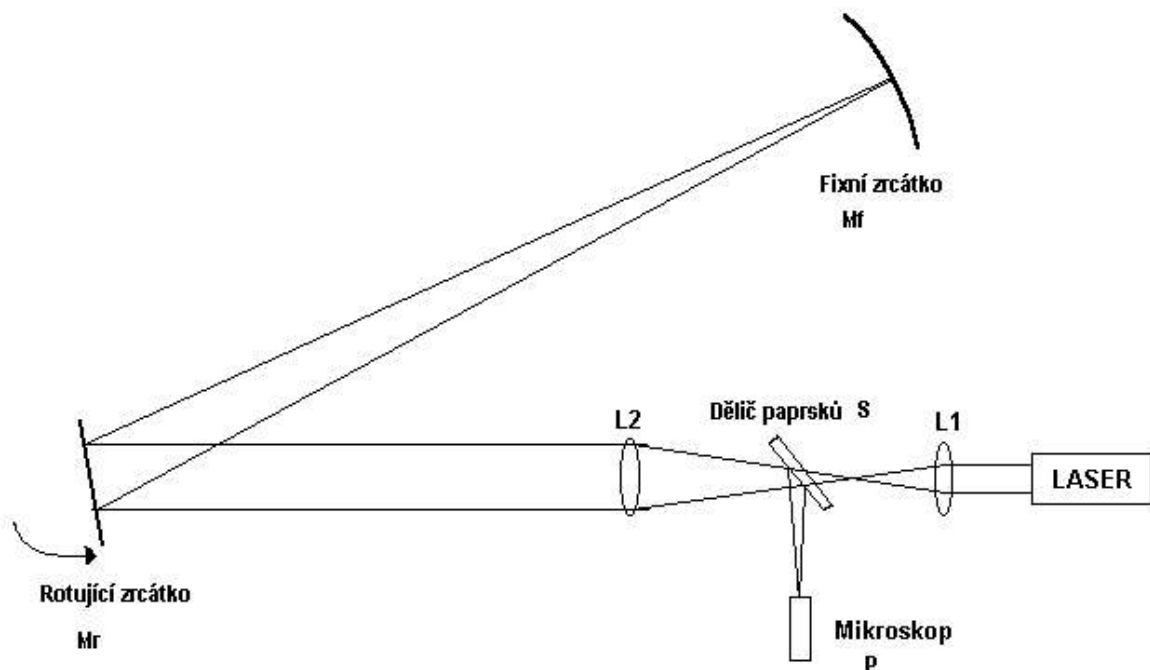
V polovině 19. století dospěla technika na takovou úroveň, že bylo možné přenést pokusy o změření rychlosti světla na Zem. Francouz *Fizeau* vyvinul v roce 1849 metodu rotujícího ozubeného kola. Paprsek procházel dírou v ozubeném rotujícím kole. Procházel několik kilometrů dlouhou trať, aby se posléze po stejné trajektorii vrátil. Nyní ovšem již našel kolo pootočené. Pokud rotovalo s vhodnou frekvencí, pak se tento paprsek právě střelil do další díry v kole a pozorovatel jej zaznamenal.

Již rok nato přišel jiný Francouz, *Jean Foucault*, s konkurenční metodou. Tentokrát nechal rotovat zrcátko. Na toto zrcátko dopadal paprsek. Byl odražen a probíhal značnou délku, než byl znovu odražen a vrátil se po stejné trajektorii zpátky. Mezitím ale našel rotující zrcátko mírně pootočené. Tudíž se odrazil pod jistým úhlem, který byl jiný, než původní úhel dopadu před prvním odražením. Změřením této velikosti při znalosti frekvence rotujícího zrcátka a vzdálenosti volného chodu paprsku lze určit rychlost světla.

Foucaultova metoda byla mnohokrát znovu zdokonalována, zejména pak americkým experimentátorem *Michelsonem* v roce 1887.

Náše měření rychlosti světla

Přístroj, se kterým jsme se pokoušeli měřit rychlost světla byl založen na foucaultově metodě. Na obr.1 je schéma tohoto přístroje.



Obr.1

Popis k obr.1:

Světelný puls vychází z laseru a vstupuje do čočky L1. Obě čočky jsou zde kvůli optické přesnosti (je třeba paprsek soustředit na fixní zrcátko). Nejsou tedy principiální součástí metody, nicméně jsou nutnou součástí konkrétního zařízení. Dále postupuje paprsek přes čočku L2 a dopadá na rotující zrcátko Mr. Odráží se a dopadá doprostřed pevného sférického zrcátka Mf. Vrací se zpět po odrazu po stejné trajektorii. Po odrazu od rotujícího zrcátka ovšem již jeho dráha nesplývá s dráhou původního paprsku. Malý úhel, o který je tento paprsek odchýlen od původního lze zjistit pozorováním posunutí stop původního a odraženého paprsku v mikroskopu.

Označíme-li:

A součet vzdáleností L2 od S a od S do P, B vzdálenost Mr a L2, D vzdálenost Mr a Mf, úhlovou frekvenci rotujícího zrcátka, Δs posunutí obrazů v mikroskopu, pak pro rychlost světla platí:

$$c = \frac{4AD^2\omega}{(D+B)\Delta s}$$

Výsledky měření:

Předem je nutno podotknout, že se nám rychlost světla touto metodou změřit nepodařilo. Ba nepovedlo se nám ani získat obraz odraženého paprsku v mikroskopu při rotujícím zrcátku. Tudíž jsme nemohli ani měřit posunutí obrazů.

Mezi hlavní problémy našeho měření patřila neschopnost přesného nastavení soupravy. Jedná se o dosti komplikovaný úkol, protože i malé chyby se při průchodu světla dlouhou vzdáleností D (u nás činila až kolem 10m) znásobí optickou pákou. Značné problémy též působí všechny nežádoucí odrazy od čoček a skel, které jsou mnohem intenzivnější, než žádaný paprsek.

Nicméně alespoň přibližných výsledků dosáhl Radek Fejt při měření rychlosti světla v mikrovlnné troubě (viz níže).

Mikrovlnná trouba a toustový chléb

Tato metoda je velice svérázná a při troše snahy ji zvládne i úplný začátečník. Mikrovlnná trouba ohřívá pomocí mikrovlnného záření, což je část spektra světla, o frekvenci 2.45 GHz. Do trouby se vyskládá chléb a nechá se péct. Po chvíli by se na něm měly objevit zřetelné spálené pruhy. Vzdálenost pruhů by měla mít velikost půl periody záření. Rychlost světla se spočte ze vztahu:

$$c = 2f \frac{\lambda}{2}$$



Vzdálenost pruhů jsme naměřili 7.5 cm a rychlost nám vyšla $c = 3.75 \cdot 10^8$ m/s.

Z takto velké hodnoty a faktu, že se nám v troubě vytvořily i pruhy na sebe kolmé, usuzujeme, že se záření uvnitř různě odráží a skládá a to znemožňuje změřit přesnější výsledek.

3 Shrnutí

Měření rychlosti světla foucaultovou metodou se ukázalo být velmi obtížným a musíme přiznat, že se nám nezdařilo ani po opakovaných pokusech naměřit rychlost světla. Na vině je z velké části nutnost velmi přesného nastavení aparatury, která je velmi náchylná na jakékoli výchyly.

Měření pomocí mikrovlnné trouby poskytlo výsledek $c = 3.75 \cdot 10^8$ m/s. Při uvážení možných nepřesností při tomto měření se nám zdá chyba tohoto měření adekvátní. Není asi příliš možné tuto metodu při použití komerčních mikrovlnných trub zdokonalovat. Jedná se spíše o fyzikální kuriozitu než o věrohodný experiment.

Opakované neúspěchy našeho měření poněkud ochladily naše počáteční nadšení věnovat se tomuto experimentu.

Poděkování

Děkujeme vedení Fyzikálního praktika FJFI za možnost si volně vyzkoušet zdejší experimentální zařízení na měření rychlosti světla.

Reference:

- [1] Horák, Z., Krupka, F., Šindelář: Technická fyzika, SNTL, 1961
- [2] Instruction manual and reference guide for PASCO scientific measuring speed of light apparatus