

Rychlost světla

J. Máca

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

jan.maca1@seznam.cz

Abstrakt

Tématem této práce je popis historie měření světla tak jak v minulosti probíhalo. Součástí je také vlastní pokus, který má za cíl změřit rychlost světla pomocí Foucaultovy metody.

1 Úvod

Rychlost světla je jednou z nejdůležitějších fyzikálních konstant ve vesmíru. Když Albert Einstein formuloval Speciální teorii relativity, byl princip stálosti rychlosti světla nezávisle na vztažné soustavě jedním z postulátů této teorie. Rychlost světla byla také dána jako horní hraniční rychlost, kterou se může jakýkoli objekt pohybovat. Objekty, jejichž rychlost se blíží rychlosti světla se přestávají chovat podle Newtonových zákonů a začínají se chovat podle zákonů teorie relativity. Všechny tyto věci dělají z rychlosti světla jednu z nejzajímavějších konstant a je jistě zajímavé se pokusit ji změřit.

Jako jeden z prvních se o takovéto měření pokusil Galileo Galilei. Jeho metoda spočívala v tom, že v noci spolu se svým asistentem vyšli na protější kopce a postupně první z nich odkryl lampu a ve chvíli, kdy světlo doputovalo k druhému, měl lampu odkryt i on a z časového zpoždění vracejícího se paprsku a ze známé vzdálenosti měla být určena rychlost světla. Z pochopitelných důvodů tento pokus selhal, nicméně bylo jasné, že rychlost světla bude muset být měřena na velké vzdálenosti.

První úspěšné měření zaznamenal v 17. století dánský astronom Olaf Römer. Ten měřil periody zákrytů Jupiterova měsíce Io v závislosti na pohybu Země směrem k nebo od Jupitera. Jeho měření již mělo značnou přesnost, došel k výsledku přibližně $2,1 \cdot 10^8$ m/s. Chyba jeho měření byla ovšem způsobena spíše neznalostí přesné vzdálenosti mezi Zemí a Jupiterem než chybným měřením.

Další rozmach měření rychlosti světla proběhl v 19. stol. Nejdříve přišel Fizeau s metodou rotujícího ozubeného kola. Princip je jasný, světlo projde mezi dvěma zuby rotujícího kola, odrazí se od zrcadla a vrací se zpět další mezerou. Pak ze znalosti rychlosti rotace a vzdálenosti zrcadla od kola lze snadno spočítat rychlost světla. Touto metodou byl Fizeau schopen změřit rychlost přibližně $3,15 \cdot 10^8$ m/s.

Později byla rychlost světla měřena ještě dalšími metodami. Michelson ji měřil Foucaultovou metodou, která bude popsána později, v rámci programu Apollo byl umístěn na Měsíc laserový odražeč, takže byl proveden ještě jakýsi návrat ke Galileově metodě. V současnosti je oficiálně uznána hodnota $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s. Tato hodnota je již konečná. Pokud by došlo ještě k dalšímu zpřesnění měření, neopravovala by se již rychlost světla, ale změnila by se délka metru, který je pomocí rychlosti světla definován.

2 Foucaultova metoda

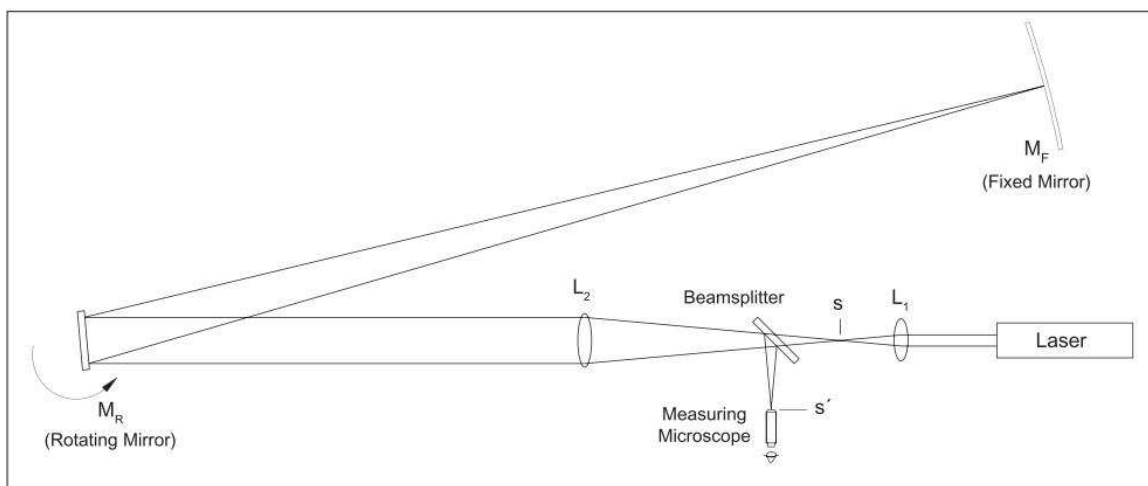


Figure 1: Diagram of the Foucault Method

Obr. 1: Schéma pokusné aparatury

Tuto metodu jsem použil ve svém pokusu já. Její princip je podobný jako v Fizeauově metodě. Laserový paprsek se odráží od rotujícího zrcátka do pevného jako na obrázku a v mikroskopu v důsledku rotace sledujeme posuv odraženého paprsku v porovnání s paprskem, když bylo rotující zrcátko v klidu. Na základě znalosti úhlové rychlosti rotace zrcátka a vzdáleností všech čoček a zrcadel lze vypočítat rychlost světla na základě vzorce:

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

kde c je rychlost světla, A je vzdálenost mezi první a druhou čočkou mínus ohnisková vzdálenost první čočky, B je vzdálenost druhé čočky a rotujícího zrcátka, D je vzdálenost mezi rotujícím a pevným zrcátkem, ω je úhlová rychlost rotujícího zrcátka a Δs je posuv odraženého paprsku v mikroskopu.

3 Vlastní měření

K samotnému měření bylo použito zařízení firmy Pasco scientific. V přiloženém manuálu bylo poznamenáno, že ideální vzdálenost pro měření je 13-15 metrů mezi rotujícím a pevným zrcadlem. Z důvodů prostorového omezení laboratoře se bohužel měření odehrávalo na vzdálenost pouhých 2,77 metru mezi zrcadly. Vzdálenosti zrcadel a čoček, které se dosazují do vzorce tedy byly rovny:

$$A = 0,331 \text{ m}, B = 0,465 \text{ m}, D = 2,77 \text{ m}$$

Úhlová rychlost rotace a tím pádem i posuv paprsku v mikroskopu se lišil podle toho, do jaké rychlosti se v tom konkrétním měření roztočilo rotující zrcátko. To z konstrukčních důvodů mohlo setrvávat v režimu maximálního výkonu maximálně minutu, pak by se začalo přehřívat. Měřená veličina byla frekvence, nikoli samotná úhlová rychlost, ta se získá z naměřených hodnot vynásobením číslem 2π . Posuv se měřil pomocí pozorovacího mikroskopu se záměrným křížem a pohyboval se v řádech desítek mikrometrů. Provedená měření jsou zachycena v následující tabulce:

Číslo měření	f [Hz]	Δs [μm]	c [m/s]
1	1342	80	330 990 581
2	1406	70	396 314 887
3	1305	70	367 845 610
4	1402	100	276 631 174
5	1333	70	375 738 083
6	1358	90	297 721 615

Tab. 1: Tabulka naměřených hodnot frekvence f a posunu paprsku Δs a vypočtených hodnot rychlosti světla.

4 Závěr

Měření mělo několik problémů. Tím největším byl samozřejmě problém s místem. Na vzdálenost necelých tří metrů byl sice prokazatelný posun paprsku v mikroskopu, ale jak je patrné z výsledků měření i posun jednoho dílku na měřicí stupnici (představuje hodnotu 10 μm) představoval příliš velkou chybu v měření. Z naměřených hodnot lze tedy usoudit, že rychlost světla je konečná a pohybuje se řádově ve stovkách milionů metrů za sekundu. To je pravděpodobně nejlepší výsledek jakého lze na tuto vzdálenost dosáhnout.

Další problém představovalo samotné zaměření soustavy. Zde bylo pravděpodobně nejsložitější zaměřit odražený paprsek od pevného zrcadla zpět do rotujícího a následně zaostřit paprsek v mikroskopu do dostatečně ostrého bodu. V okamžiku roztočení rotujícího zrcátka totiž intenzita paprsku v mikroskopu rapidně klesá a často se stává, že pozorovaný bod úplně zmizí.

Nicméně přes všechny problémy se zaměřením soustavy a malou vzdáleností, na kterou probíhalo měření, lze prohlásit, že samotná demonstrace konečnosti rychlosti světla a její velice přibližný odhad jsou úspěchem.

Reference

[1] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model OS-9261A, 62 and 63A, Speed of Light Apparatus

[2] V.Kaizr, Měření rychlosti šíření světla, http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_s1.html