

Měření rychlosti světla

Daniel Vymětal¹, Tomáš Jáchym², František Hájek³

Gymnázium Mikuláše Koperníka, Bílovec¹
Česko-Anglické gymnázium, České Budějovice²
Gymnázium Uničov, Uničov³

oshiraban@gmail.com¹
tomasjachym@gmail.com²
frahah@seznam.cz³

Abstrakt:

Rychlost světla c je považována za jednu z nejzákladnějších konstant v přírodě. Ve vakuu je jeho rychlost vždy konstantní. Zatím jsme neobjevili žádnou rychlost, která by byla větší než rychlost světla. V současnosti jsme schopni tuto rychlost přesně změřit. Podle dosavadních poznatků této rychlosti nemůže nikdy dosáhnout částice s hmotností.

1 Jak to vlastně všechno začalo?

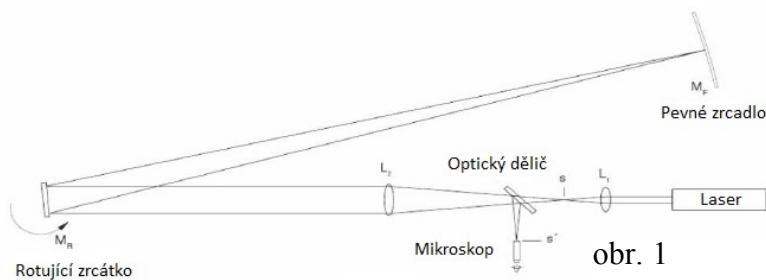
Rychlost světla byla v Evropě dlouhou dobu považována za nekonečnou. Tato myšlenka se však nelíbila italskému fyzikovi a astronomovi Galileu Galileji. Pokusil se provést experiment, který by tuto myšlenku vyvrátil, avšak jeho snažení nemělo pozitivního výsledku.

Roku 1675 se pokusil dánský astronom Olaf Römer rozbořit staré mýty o nekonečné rychlosti světla a dát tedy světu nový řád. Jeho výsledky vycházely z pozorování zákrytu Jupitera jeho měsícem Io. Jestliže byl Jupiter k Zemi blíže, doba zákrytu byla kratší, než když byla tato vzdálenost větší. Na základě tohoto pozorování spočítal rychlost světla na $2.1 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$, tedy s odchylkou 30% od dnešních hodnot.

O něco přesněji určil tuto hodnotu roku 1849 francouzský vědec Hippolyte Fizeau, který ji stanovil na $3,15 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ pomocí ozubeného kola a zrcátka.

Další francouzský vědec, Jean Foucault, tuto metodu zdokonalil a určil rychlost světla na $2.999 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$. Při našem experimentu využijeme této metody a pokusíme se pomocí ní přiblížit co nejvíce k tabulkové hodnotě.

2 Světlo pod mikroskopem



M_R – rotační zrcadlo
 M_F – pevné zrcadlo
 L_1 – čočka s ohniskem 48 mm
 L_2 – čočka s ohniskem 252 mm
 A – Vzdálenost L_1 a L_2 minus ohnisko L_1
 B – vzdálenost L_2 a M_R
 D – vzdálenost mezi M_R a M_F

Metoda

Metoda, kterou jsme použili, se nazývá Foucaultova.

Je založena na tomto principu (obr. 1):

1. Paprsek z laseru prochází čočkami do rotujícího zrcadla M_R
2. Odráží se do pevného zrcadla M_F
3. Vrací se do M_R , které se mezitím pootočí o úhel Θ
4. Zde se odráží do mikroskopu, v němž můžeme pozorovat posun Δs odraženého obrazu od původního paprsku

Příprava, měření

Pomůcky: 0.5 mW He-Ne laser 632.8 mm, modul s rotačním zrcátkem včetně ovládání, pevné sférické zrcadlo na podstavci, měřicí mikroskop s děličem svazku, 1 čočka s ohniskem vzdálenosti 48 mm, 1 čočka s ohniskem vzdálenosti 252 mm, polarizátor, optická lavice spojena s nastavitelnou lavicí pro laser, zaměřovače svazku

Postup: Sestavíme aparaturu podle schématu (obr. 2). Nastavíme laser tak, aby procházel přes čočky a mikroskop do rotujícího zrcadla. Pevné zrcadlo umístíme do vzdálenosti D tak, aby rotující zrcadlo odráželo paprsek přímo do pevného zrcadla. Dále upravíme pevné zrcadlo, aby odráželo paprsek zpět do rotujícího zrcadla a odtud do mikroskopu. V mikroskopu nalezneme odraz odraženého paprsku.

Měření: Postupujeme tak, že prvně změříme posun obrazu odraženého paprsku ve směru hodinových ručiček CW o určité frekvenci a poté to samé provedeme proti směru hodinových ručiček CCW (o shodné frekvenci). Zapišeme naměřené hodnoty a opakujeme měření pro jiné frekvence.

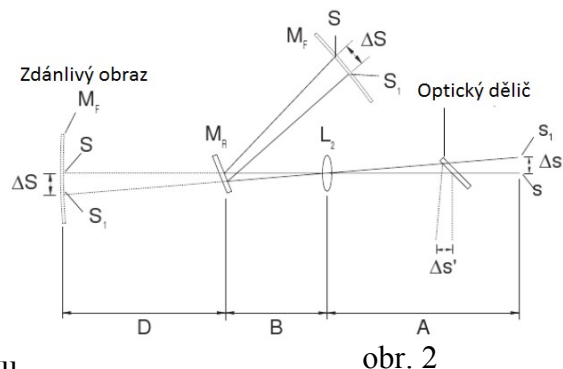
Výsledky měření

Pro výpočet rychlosti světla využijeme vztahu:

$$|\angle s_1 M_R S| = 2\Delta\theta,$$

který dále rozvedeme do podoby [6]

$$c = \frac{8\pi AD^2 (f_{CW} + f_{CCW})}{(D + B)(s'_{CW} - s'_{CCW})}$$



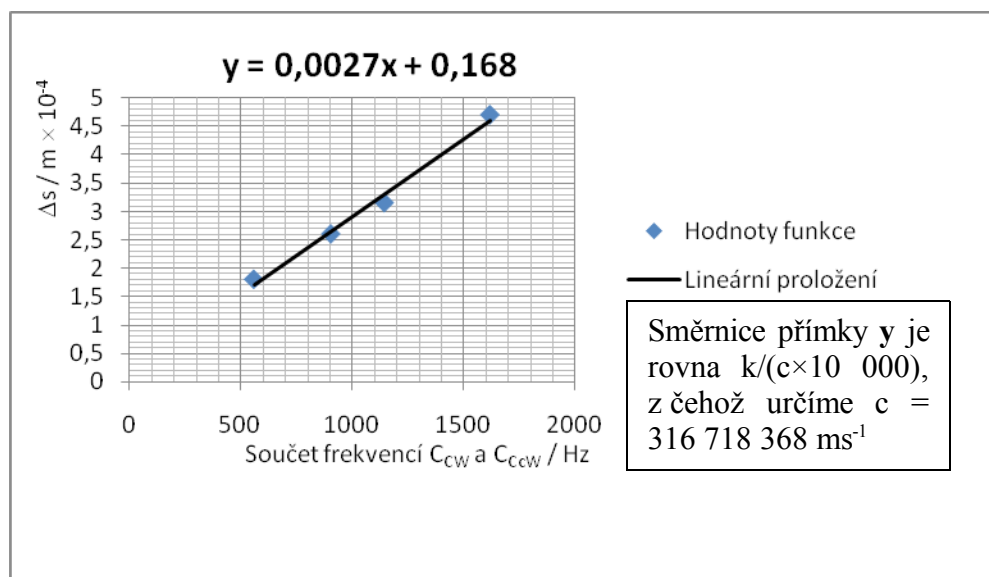
v této rovnici zavedeme substituci

$$k = \frac{8\pi AD^2}{(D + B)}$$

Naše naměřené hodnoty a provedené výpočty

Otáčky [Hz]	Směr CCW [mm]	Směr CW [mm]	Δs [m]	Odpovídající rychlost světla [ms ⁻¹]
280	12,52	12,7	0,00018	269580821,9
453	12,29	12,55	0,00026	315244512,1
573	12,39	12,705	0,000315	298669330
810	12,35	12,82	0,00047	301945332,7

Závislost rozdílu vzdáleností na součtu frekvencí CW + CCW



Při měření mohlo dojít k určitým chybám v měření vzdáleností mezi zrcadly, nerovnosti terénu, nedokonalému prostředí a nedokonalému ostření čoček. Odhad teoretické chyby mohl dosáhnout až 8,9 %.

Diskuse

Definována rychlost světla je $2,99792458 \times 10^8\text{ ms}^{-1}$; naše naměřená rychlost přitom činí $3,16718368\text{ ms}^{-1}$. Tedy odchylka od tabulkového výsledku je 5,6 %. Z toho plyne, že naše měření byla relativně přesná.

V porovnání odchylek s předchozími ročníky:

-24,0 % (2011); 5,0 % (2010); 5,5 % (2009); 5,19 % (2008).

3 Shrnutí

Naše naměřená hodnota $316\,718\,368\text{ ms}^{-1}$ se od tabulkové hodnoty $292\,792\,458\text{ ms}^{-1}$ liší o 5,6 %, což je méně, než odhad relativní chyby 8,9 %. Z toho vyplývá, že naše měření bylo v rámci možností relativně přesné. Dále jsme zjistili, že pro lepší identifikaci odrazu paprsku je lepší si střídavě zakrývat paprsek z M_R do M_F . Naše měření jednoznačně dokázalo, že Galileo Galilei měl o konečnosti rychlosti světla přeci jen pravdu.

Poděkování

Děkujeme za technickou a vědomostní podporu Ing. Jaroslavu Adamovi.

Dále děkujeme FJFI ČVUT za poskytnutí pomůcek a prostorů.

Reference:

- [1] ČERNÝ L. A KOL.: *Měření rychlosti světla* - Sborník příspěvků, 2011, str. 40
- [2] KUMAVSKÝ L. A KOL.: *Měření rychlosti světla – Sborník příspěvků*, 2010, str. 48
- [3] ŠVÉDA P. A KOL.: *Měření rychlosti světla – Sborník příspěvků*, 2009, str. 141
- [4] OTTE V. A KOL.: *Měření rychlosti světla – Sborník příspěvků*, 2008, str. 50
- [5] KAIZR V.: Měření rychlosti šíření světla, Aldebaran Bulletin http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_s1.html [cit.:19. 6. 2012]
- [6] B. LEE A KOL.: Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model OS - 9261A, 62 and 63A, Pasco Scientific, USA, 1989