

Měření rychlosti světla

Autoři: Petr Švéda¹, Jiří Bárdoš²

¹Gymnázium, Brno-Řečkovice; svedapetr@email.cz

²Gymnázium Teplice; jiri.bardos@post.gymtce.cz

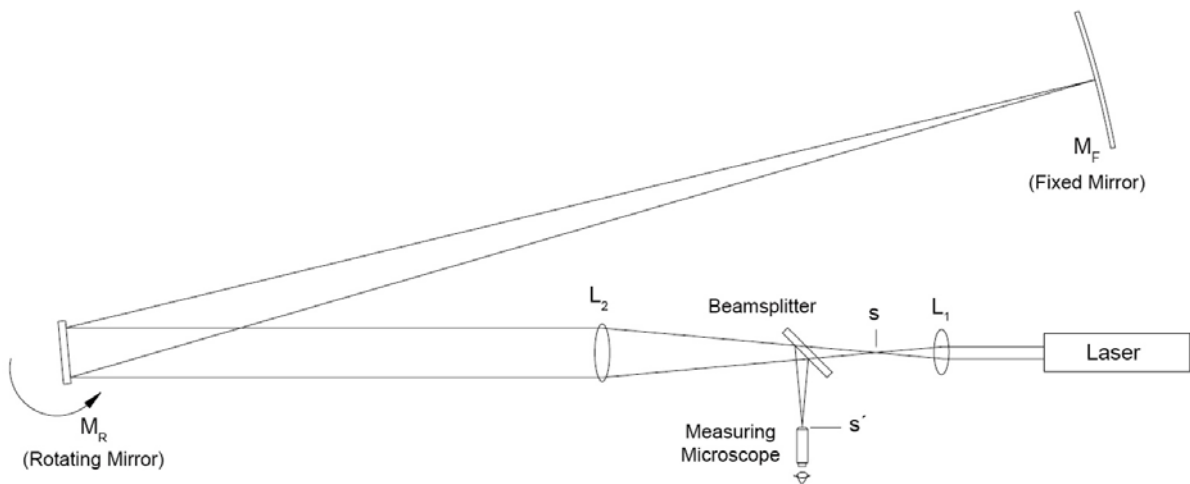
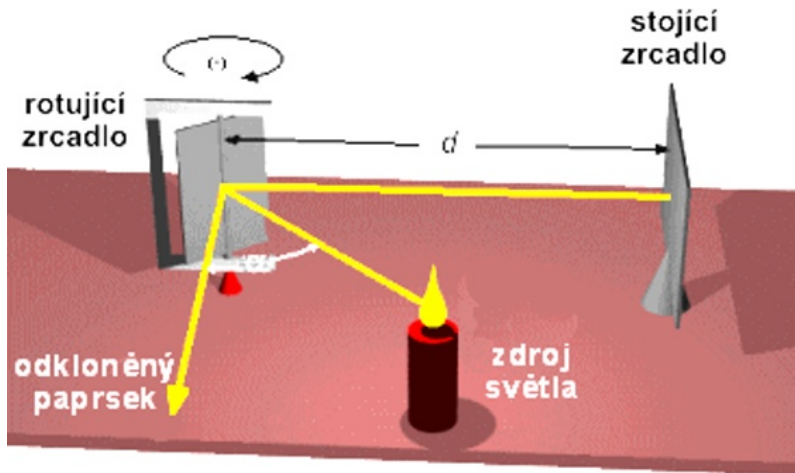
Abstrakt:

Práce se zabývá experimentálním měřením rychlosti světla Foucaultovou metodou. Rychlost světla je základní vesmírnou konstantou, je nezbytná pro astrofyziku, částicovou fyziku, ale i pro věci denní potřeby, jako je třeba navigace GPS. Proto jsme se snažili sérií pokusů tuto konstantu určit co nejpřesněji a v našich podmínkách byla nejvhodnější zmíněná metoda. Námi naměřená hodnota je $317\,306\,695\text{ms}^{-1}$, která se liší jen 5,5% od skutečné.

1 Histore měření c

- V 17. století se snažil změřit rychlost Galileo Galilei. Měřil tak, že si stoupl v noci na kopec s lucernou, na protější kopec si stoupl jeho spolupracovník. Galileo odkryl lucernu a v momentě, kdy záblesk spatřil jeho kolega, odkryl lucernu on. Časová prodleva měla být časem, za jaký urazí světlo dvojnásobek vzdálenosti mezi kopci. Jeho metoda byla principiálně správná, ale nedosáhl žádných relevantních výsledků, protože rychlost světla je příliš velká.
- V roce 1675 se poprvé podařilo změřit rychlost světla Ole Römerovi. Získal rychlost 225000kms^{-1} . Vycházel z rozdílných period zákrytu Jupiteru a jeho měsíce Io. Rozdílná doba byla způsobena různou vzdáleností Země – Jupiter; z rozdílné vzdálenosti a rozdílu času pak určil c .
- V polovině 19. století probíhaly 2 experimenty, každý na jiném principu. Hippolyte Fizeau užil rotujícího ozubeného kola a vzdáleného zrcadla a měřil, při jaké rychlosti otáčení se ještě paprsek vrátí stejnou mezerou mezi zuby.
- 2. experimentem byla právě Foucaultova metoda.

2 Foucaultova metoda a vlastní měření



- Foucaultova metoda (nebo také metoda rotujícího zrcátka) spočívá v tom, že laser vysílá paprsek, který prochází děličem paprsku a odráží se od rotujícího zrcadla k zrcadlu pevnému (ve velké vzdálenosti, v našem případě 8m). Od toho se odráží zpět k rotujícímu zrcadlu, které se však mezitím nepatrně pootočilo, což způsobí posunutí obrazu bodu (Δs), které pomocí mikroskopu změříme. K zaměření a kalibraci paprsku je nutné užít polarizační filtry, abychom dostatečně snížili intenzitu paprsku a bylo možné paprsek pozorovat.

Pomůcky: zdroj laserového paprsku, 2 fokusovací čočky, polarizační filtr, kolejničky, na nichž byla aparatura umístěna, otočné zrcátko, stacionární zrcátko, mikroskop.

Před vlastním měřením bylo nutné celou optickou soustavu přesně seřadit, nastavit paprsek a zrcadla tak, aby se paprsek vracel přesně do rotujícího zrcátka. Vlastní měření je pak sérií měření vzdálenosti mezi obrazem bodu paprsku při stojícím a při roztočeném zrcátku (měřili jsme při rotaci v kladném i záporném směru).

- Výsledky:

f [Hz] frekvence otáčení zrcadla

Δs [μm] změřený posun bodu

c [ms^{-1}] vypočítaná rychlost

Δc [ms^{-1}] rozdíl c měřené a c skutečné

1. pokus	2. Pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus
1230	1261	1044	1245	1250
200	220	130	190	190
319 674 315	297 937 406	417 435 878	340 602 928	341 970 812
- směr				

6. pokus	7. pokus	8. pokus	9. pokus	10. pokus
1055	1245	1268	1266	1260
170	210	220	210	210
322 579 055	308 164 554	299 591 302	313 362 511	311 877 380
+ směr				

f [Hz] frekvence otáčení zrcadla

Δs [μm] změřený posun bodu

c [ms^{-1}] vypočítaná rychlost

Δc [ms^{-1}] rozdíl c měřené a c skutečné

22 786 597	8 372 096	201 156	13 570 053	12 084 922
------------	-----------	---------	------------	------------

průměrná hodnota c [ms^{-1}]

průměrná hodnota c bez hrubé chyby (3. měření)

procento chyby měření

c skutečná

Δc	
327 319 614	27 527 156
317 306 696	17 514 238
5,5%	
299 792 458	

Rychlost světla jsme počítali ze vztahu $c = \frac{4 \cdot A \cdot D^2 \cdot \omega}{\Delta s (D + B)}$

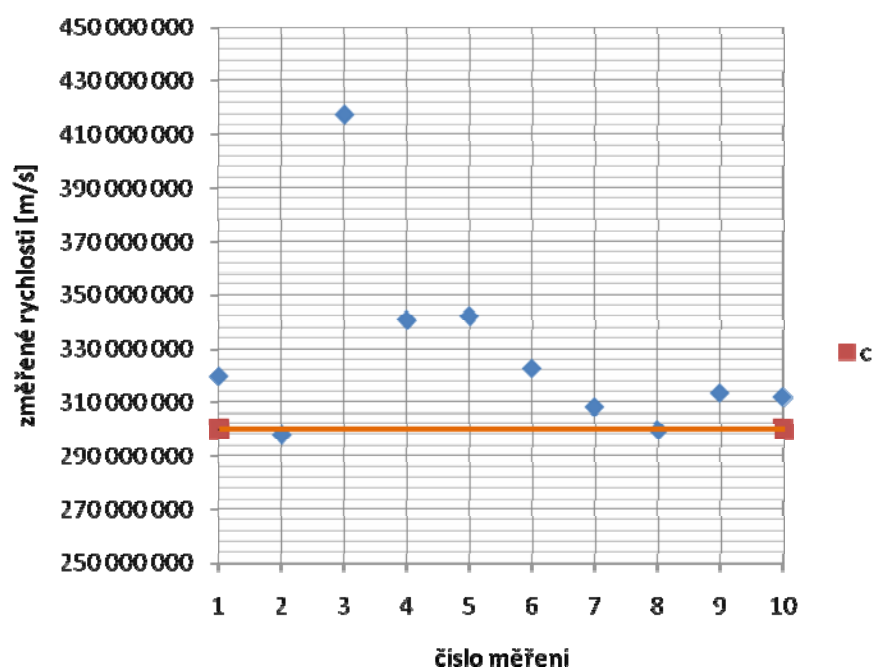
kde: A je vzdálenost mezi čočkami

B je vzdálenost mezi čočkou 2 a rotujícím zrcadlem

D je vzdálenost mezi zrcadly

ω je úhlová rychlost otáčení zrcadla $\omega = 2 \pi f$

Δs je měřeným posunem



- Naměřili jsme rychlost světla $317\,306\,696\text{ ms}^{-1}$, skutečná velikost rychlosti světla je $299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$. Absolutní rozdíl činí sice $17\,514\text{ kms}^{-1}$, ale vůči c je to výsledek velmi přesný - procentuální rozdíl je jen 5,5%. Nejbližší skutečné rychlosti světla je měření číslo 8, kde je procentuální rozdíl jen 0,063%. Nepřesnost měření byla nejspíše způsobena nepřesným zaměřením středu obrazu paprsku, a nepřesností optické soustavy, kde i velmi malá výchylka (např. v přesnosti čoček) způsobí mnohem větší rozdíl ve výsledku (měřené vzdálenosti jsou v μm).

3 Shrnutí

Na podmínky a dobu, kterou jsme měli na měření, jsme naměřili relativně přesné výsledky rychlosti světla – podařilo se nám dosáhnout přesnosti 5,5%. Měření by bylo možné zpřesnit těmito způsoby: větším počtem měření

zvětšením vzdálenosti mezi rotujícím a stacionárním zrcadlem

zvýšením otáček rotujícího zrcadla (námi užitá max. 1260 ot./s)

Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za poskytnutí veškerých materiálů a umožnění této práce, dále pak Janu Mácovi, našemu garantovi, bez nějž by tato práce jen velmi těžko vznikala.

Reference:

[1] KAIZR, V.: WWW.ALDEBARAN.CZ/BULLETIN/2004_S1.HTML, 2004

[2] PASCO SCIENTIFIC: *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model OS-9261A, 62 and 63A*