

Měření rychlosti světla

L. Hermann – Gymnázium Dr. J. Pekaře Mladá Boleslav

Z. Šeneklová – Gymnázium Jihlava

J. Novák – SPŠ elektrotechnická Pardubice

Lukas.Hermann@seznam.cz, jjj.novak@seznam.cz

Abstrakt:

Měření rychlosti světla dokazuje pravost jedné z nejdůležitějších konstant. Během několika málo hodin je možno dokázat to, co vědcům lámalo hlavu po celá století. Jeden pokus provádíme moderní technologií laserů a přesných měřidel frekvence, takže se jím podaří prověřit tuto konstantu s odchylkou desetiny procenta. Druhý pokus probíhá s pomocí mikrovlnné trouby - je méně přesný, ale mnohem rychlejší.

1 Úvod

Měření rychlosti světla dlouhou dobu bylo, a stále je velmi diskutovanou otázkou. Základním problémem se stalo, zda je rychlost světla konečná či nekonečná. Názory se různily, ale nakonec zvítězil první názor.

Metodami měření rychlosti světla se zabývali mnozí. Jedním z prvních byl výborný italský fyzik Galileo, který navrhl v roce 1607 jednoduchou metodu. Dva lidé, A a B, stojí na kopcích vzdálených asi míli. Každý má lampu. A vyšle světlo k B. Jakmile B spatří světlo přicházející od A, vyšle své světlo zpět k A. Rychlost světla dostaneme, vydělíme-li dvojnásobek vzdálenosti kopců dobou od vyslání světla z A a spatření světla v B.

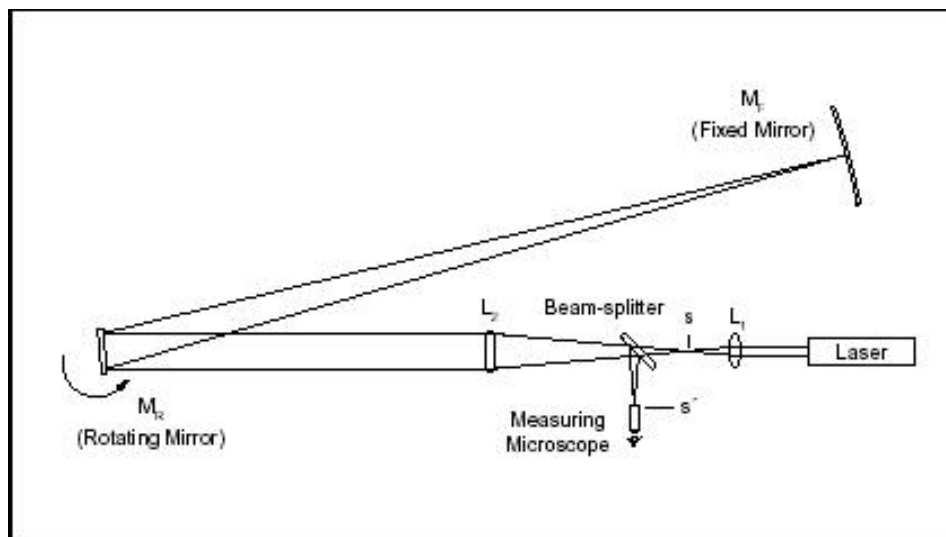
Další významný krok učinil dánský astronom Olaf Römer, který se zabýval pozorováním Jupiterových měsíců. Zjistil, že intervaly mezi zatměními některého Jupiterova měsíce stínem planety byly menší, když se Země Jupiteru přibližovala, a zvětšovaly se, když se Země od Jupitera vzdalovala. Podle Römera je za tento jev odpovědná doba, kterou potřebuje světlo při postupu prostorem, a lze jej vysvětlit na základě Dopplerova jevu. Z pozorování zatmění jednoho z Jupiterových měsíců dospěl roku 1675 k závěru, že rychlost světla je konečná a činí: $c = 214\,300 \text{ km/s}$.

Rychlost světla pozemskou metodou zjistil jako první r. 1849 A. Fizeau, jehož metoda byla analogická jednoduché metodě Galileově, z níž však odstranil subjektivní prvky: pozorovatele B nahradil zrcadlem a místo clony ovládané ručně použil otáčející se ozubené kolo, které světlo postupující mezi zuby kola střídavě propouštělo a zadržovalo. Došel k závěru, že $c = (313\,275 \pm 300) \text{ km/s}$.

Druhou pozemskou metodou pro rychlost světla je metoda rotujícího zrcátka, kterou r. 1838 navrhl Arago a realizoval ji r. 1850 Foucault. Později tuto metodu přepracoval a dovedl k dokonalosti Michelson. Jeho nejpřesnějším výsledkem byla hodnota $299\,774 \text{ km/s}$.

2 Foucaultova metoda

K našemu experimentu jsme použili poslední zmiňovanou metodu s rotujícím zrcátkem. Zde je zobrazeno schéma celého přístroje:



Rovnoběžný paprsek vycházející z laseru je zaměřen čočkou L_1 do ohniska s , odkud díky čočce L_2 přichází k rotujícímu zrcátku M_R , pak se paprsek zaměří na statické zrcátko M_F . Tam se paprsek odrazí zpět do rotujícího zrcátka a je zaměřen zpět do ohniska s . Díky zrcátku pod mikroskopem můžeme přímo v ohnisku s' , které se nachází přímo v okuláru mikroskopu, sledovat vrácený paprsek.

Při roztočení zrcátka M_R vysokou rychlostí se už paprsek nevrátí do bodů s a s' , protože paprsek vracující se ze zrcátka M_F se odrazí od zrcátka M_R , které už je ale o nepatrný úhel pootočen. To způsobí, že paprsek se vrátí do určitého místa, když se zrcátko otáčí po směru hodinových ručiček (f_1), a do jiného místa, když se zrcátko otáčí proti směru hodinových ručiček (f_2).

Ze vzdálenosti mezi těmito místy ($\Delta s'$), součtu frekvencí otáčení zrcátka ($f=f_1+f_2$), ohniskové vzdálenosti L_1 odečtené od vzdálenosti mezi oběma čočkami (A), vzdálenosti B mezi čočkou L_2 a rotujícím zrcátkem M_R a vzdálenosti D mezi rotujícím (M_R) a statickým (M_F) zrcátkem vypočteme rychlost světla c podle vzorce:

$$c = \frac{8\pi AD^2 f}{(D+B)\Delta s'}$$

Zde je tabulka naměřených hodnot a výsledné rychlosti světla:

$A[m]$
0,263
$B[m]$
0,475
$D[m]$
8,975

č.	$f_1[s^{-1}]$	$f_2[s^{-1}]$	$f[s^{-1}]$	$s'_1[m]$	$s'_2[m]$	$\Delta s'[m]$	$c[m.s^{-1}]$
1	760	698	1458	0,01202	0,01230	0,00028	293 381 150
2	811	814	1625	0,01235	0,01202	0,00033	277 441 960
3	1069	1062	2131	0,01198	0,01238	0,00040	300 162 320
4	1380	1410	2790	0,01245	0,01193	0,00052	302 296 820

Výše uvedené hodnoty c se od skutečné rychlosti světla liší především kvůli nepřesnosti měřidel optické soustavy a nepřesnému měření vzdáleností A, B, a D. Většího přiblížení se k reálné hodnotě rychlosti světla se dá dosáhnout měřením s vyššími frekvencemi otáčení f rotujícího zrcátka M_R .

3 Metoda mikrovlnné trouby

JOJO bonbony Marshmallow, které jsou citlivé na absorpci energie, umístíme do mikrovlnné trouby, z níž vyjmemе otočný talíř. Je známo, že mikrovlnná trouba pracuje na principu šíření elektromagnetického příčného vlnění a jeho energie je maximální v amplitudě, tzv. kmitně. Naopak v uzlech se vlnění téměř nešíří. Bonbony ohříváné v mikrovlnné troubě nabobtnávají v oblasti kmitem a naopak zůstávají stejné v uzlech. Změříme-li vzdálenost dvou po sobě následujících kmiten, jejich dvojnásobná vzdálenost odpovídá vlnové délce λ elektromagnetického vlnění. Frekvenci vlnění vyčteme na štítku, který se nachází na zadní straně mikrovlnné trouby.

$$\lambda = 0,124 \text{ m} \quad \text{Po dosazení } c = f \cdot \lambda \text{ tedy } c = 0,124 \cdot 2450000000 = 303800000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$
$$f = 2,45 \text{ GHz}$$

4 Shrnutí

Foucaultova metoda pro měření rychlosti světla dopadla podle předpokladů velice přesně. Největším problémem této metody bylo nastavení optimálních podmínek pro měření, především při neshodě praxe s teoretickými předpoklady.

Metoda mikrovlnné trouby byla provedena během několika málo minut, ale odečtení vlnové délky elektromagnetického vlnění bylo zatíženo chybou měření. Proto se odchylka pohybuje okolo jednoho procenta.

Poděkování

Za umožnění provedení experimentu bychom chtěli především poděkovat Fakultě Jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze a všem sponzorům Fyzikálního týdne 2004. Dále bychom chtěli poděkovat oběma našim supervizorům za pomoc s experimentem.

Reference:

- [1] BROŽ, J. – ROSKOVEC, V.: *Základní fyzikální konstanty* SPN, 1988, 45 – 53.
- [2] PASCO: *Speed of light apparatus* Pasco, 1989.