

Meranie rýchlosti svetla

Opis metódy

Spôsob merania svetla v tomto cvičení vyvinul v roku 1862 JEAN BERNARD LÉON FOUCAULT. Základnou súčasťou aparatury je rotujúce zrkadlo s vysokou frekvenciou a stabilné zrkadlo vo veľkej vzdialenosti. Ak zrkadlo nerotuje, aparatura je nastavená tak, aby svetlo zo zdroja, ktoré dopadá najprv na rotujúce a potom na pevné zrkadlo dopadalo po odraze naspäť do zdroja. Ak sa zrkadlo mierne pootočí, stále dopadá svetlo presne naspäť do toho istého bodu. Ak ale zrkadlo začne rýchlo rotovať, svetlo odrazené od statického zrkadla nájde rotujúce zrkadlo na ceste späť v inej polohe, ako bolo keď sa odrážalo prvý raz. To má za následok, že sa už nvráti späť, ale jeho poloha bude mierne posunutá. Meraním tohoto posuntia možno zmerať rýchlosť svetla. Súvisí totiž s dobou, ktorú trvalo svetlu prejsť od jedného zrkadla po druhé a späť, a uhlom, o ktorý sa za túto dobu pootočilo rotujúce zrkadlo. Zo znalosti frekvencie rotácie zrkadla možno meraním uhla pootočenia zrkadla určiť túto dobu. Rýchlosť svetla je potom podielom dvojnásobku vzdialeností dvoch zrkadiel a tejto doby.

Opis aparatury

Súprava na meranie rýchlosti svetla OS-9261 od firmy *Pasco* Obsahuje:

- **Vysokorýchlostné rotujúce zrkadlo s príslušenstvom.** Rovinné zrkadlo ($1/4 \lambda$), vysokorýchlostné ložiská, fixačná skrutka. Opticky snímaná rýchlosť s presnosťou 0,1 % alebo 1 otáčka/s. Možnosť zvoliť smer rotácie. Kontinuálna voľba otáčok od 100 do 1000 otáčok/s. Tlačidlo MAX REV/SEC umožňuje rýchlo zmeniť otáčky na maximum, čo je cca 1500 otáčok/s.
- **Stabilné zrkadlo.** Sféricke zrkadlo $R = 13,5 m$. Samostatný stojan s nezávislými skrutkami pre náklon v smere x a y .
- **Merací mikroskop** Zväčšenie $90\times$. Umiestnený na posuvnom stojane s mikrometrickým posuvom. Presnosť merania posunutia je $5 \cdot 10^{-6} m$. Okulár je vybavený zameriavacím krížom. Zaostruje sa pomocou ručného posúvania tubusu vo zvislom smere. Tubus je fixovaný skrutkou. Súčasťou stojana je tiež polopriepustné zrkadlo s páčkou pre nastavenie jeho sklonu.

- **He-Ne laser.** Výkon 0,5 mW, TEM₀₀, nepolarizovaný, $\lambda = 632,8$ nm. Laser je umiestnený na lavici s justážnymi skrutkami.
- **Optická lavica.** Dĺžka 1 m.
- **Šošovky – 2 ks.** $f = 48$ mm a $f = 252$ mm
- **Kalibrované polarizátory – 2 ks.**
- **Magnetické držiaky optických prvkov – 3 ks.**
- **Justážne apertúry – 2 ks.** $\phi = 2$ mm

Nastavenie aparatury

Upozornenie: Nikdy sa nepozerajte do laserového zväzku, či už priamo alebo v odraze! Pri nastavovaní dávajte pozor, aby laserový zväzok neprechádzal miestom, kde by mohol niekto náhodne doň pozrieť.

1. Nastavte laserový zväzok rovnobežne s optickou lavicou. Použite justážne apertúry tak, že jednu umiestnite blízko lasera a druhú čo možno najďalej na optickú lavicu. Pomocou justážnych skrutiek na lavici lasera zabezpečte, aby zväzok prechádzal jednou i druhou apertúrou.
2. Presvedčte sa, že zväzok dopadá do stredu rotujúceho zrkadla M_R . Zrkadlo natočte odrážajúcou stranou smerom k laseru. Odstráňte druhú justážnu apertúru. Odrazený zväzok by mal späť prechádzať prvou apertúrou. Ak nie, doladte výšku a sklon laserovej lavice.
3. Odstráňte prvú justážnu apertúru.
4. Umiestnite šošovku s ohniskovou vzdialenosťou 48 mm (L_1) na optickú lavicu. Značka na držiaku šošovky by mala byť v polohe 93,0 cm. Posúvaním šošovky po držiaku zabezpečte, aby zväzok dopadal do stretu rotujúceho zrkadla.
5. Umiestnite druhú šošovku s ohniskovou vzdialenosťou 252 mm (L_2) na značku 62,2 cm. Opäť zabezpečte priečnym posúvaním šošovky, aby laserový zväzok dopadal na stred rotujúceho zrkadla.
6. Umiestnite merací mikroskop do polohy 82,0 cm na optickú lavicu.

POZOR! Nepozerajte sa do mikroskopu, pokiaľ nie sú v optickej zostave zaradené polarizátory!

Mikrometrická skrutka a páčka polopriepustného zrkadla musia byť na tej strane optickej lavice, kde sa nachádza metrická mierka. Páčka polopriepustného zrkadla má smerovať smerom nadol.

Polopriepustné zrkadlo mierne zmení polohu laserového zväzku. Pomocou šošovky L_2 nastavte zväzok do stredu zrkadla M_R .

7. Umiestnite pevné zrkadlo M_F do vzdialenosti od 2 do 15 metrov od M_R . Uhol medzi optickou osou optickej lavice a spojnicou $M_R M_F$ by mal byť približne 12° . (Ak je väčší ako 20° , rám rotujúceho zrkadla bude blokovať odrazený zväzok.) Tiež treba zabezpečiť, aby M_F nebolo umiestnené na tej strane lavice, kde sa nachádza mikrometrická skrutka mikroskopu.
8. Natočte M_R tak, aby laserový zväzok dopadal na M_F .
9. Nastavte M_F tak, aby zväzok dopadal približne do jeho stredu.
10. Zmenou polohy L_2 zaostríte zväzok na pevnom zrkadle M_F .
11. Skrutkami na držiaku M_F nastavte odrazený zväzok do stredu zrkadla M_R .
12. Skrížené polarizátory umiestnite niekde medzi L_1 a laser. Pozerajte do mikroskopu a nastavte vzájomný uhol polarizátorov tak, aby bola stopa odrazeného zväzku dobre pozorovateľná.
13. Zaostríte zámerný kríž posúvaním okuláru nahor a nadol.
14. Zaostríte obraz v mikroskope posúvaním tubusu vo vertikálnom smere. Mali by ste vidieť obraz bodu.

Postup merania

1. Na paneli ovládača rotujúceho zrkadla prepnete páčku smeru rotácie do polohy CW (*clockwise* – v smere hodinových ručičiek) a zapnete motor. Môžete odstrániť polarizátory. Ak obraz nie je dostatočne ostrý, zaostríte ho pomocou tubusu mikroskopu. Na zlepšenie obrazu skúste mierne pootočiť šošovku L_2 o 1° až 2° . Najlepší obraz dostanete niekoľkonásobným iteračným zopakovaním procedúry zaostrenia pomocou mikroskopu a šošovky L_2 . Motor treba nechať zahriať pri 600 otáčkach/s po dobu minimálne 3 minúty.
2. Pomaly zvyšujte otáčky.
3. Otáčky zvýšte až na približne 1000 ot./s. Potom zatlačte tlačidlo MAX REV/SEC a držte ho. Po stabilizácii maximálnych otáčok nastavte zámerný kríž v mikroskope použitím mikrometrickej skrutky tak, aby bod bol v jeho strede. Z displeja ovládača motorčeka odčítajte otáčky a vypnite motor. Zaznamenajte polohu mikrometrickej skrutky.

4. Zmeňte smer rotácie motorčeka na opačný, prepínač nastavte do polohy CCW (*counterclockwise* – proti smeru hodinových ručičiek). Pred tým nechajte motor úplne zastaviť. Zopakujte predchádzajúci krok.
5. Rýchlosť svetla určíte zo vzťahu:

$$c = \frac{8\pi AD^2 (f_{cw} + f_{ccw})}{(D + B)(s_{cw} - s_{ccw})}$$

A – vzdialenosť medzi šošovkami L_1 a L_2 mínus ohnisková vzdialenosť šošovky L_1 ,

B – vzdialenosť šošovky L_2 od rotujúceho zrkadla M_R ,

D – vzdialenosť rotujúceho zrkadla M_R a statického zrkadla M_F ,

f_{cw}, f_{ccw} – frekvencie v smere rotácie CW a CCW,

s_{cw}, s_{ccw} – polohy obrazov v prípade prisluchajúcich frekvencií a smerov rotácie.