

Brotstuðull og ljóshraði

Lesefni til hliðsjónar

1. Walker: *Halliday and Resnick's Principles of Physics*, 11. útgáfa, kaflar 33 og 35.
2. Young & Freedman: *University Physics*, 14. útgáfa, kaflar 33 og 35.

1 Inngangur

Tilraunin fjallar um mælingar á hraða ljóss með víxlmæli *Michelsons*. Ljóshraðinn er háður efninu sem ljósið berst um og hér verða bylgjulengd og ljóshraði mæld í andrúmslofti. Víxlmælir *Michelsons* er notaður í ýmsum vísindatilraunum, t.d. hinna frægu tilraun *Michelson* og *Morley* þar sem ljósvakinn lét ekki sjá sig og við mælingar á þyngdarbylgjum.

2 Kynning á hugtökum

2.1 Ljóshraði

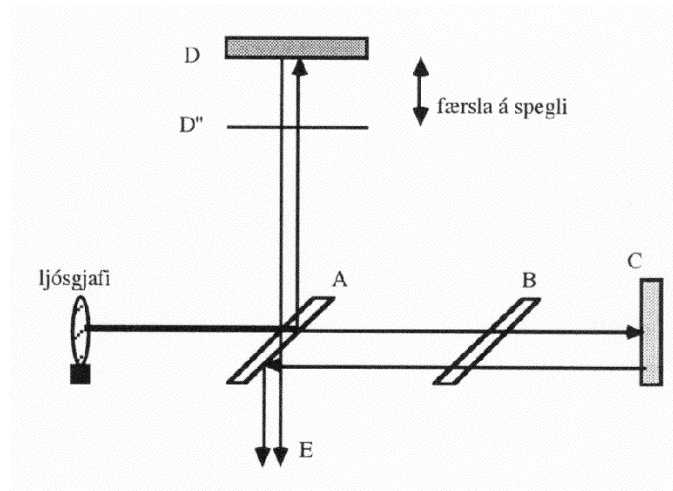
Ljós er rafsegulbylgja og hraði þess er háður víxlhrifum milli bylgjunnar og raf- og seguleiginleika efnisins, sem ljósið berst um. Af jöfnum *Maxwells* má ráða að ljóshraðanum er lýst með

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1/n}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \quad (1)$$

þar sem ϵ og μ eru raf- og segulsvörunarstuðlar efnisins og n er brotstuðull efnisins. Í lofttæmi, þar sem $\epsilon = \epsilon_0$, $\mu = \mu_0$ og $n = 1$, verður ljóshraðinn mestur eða tæplega 300 þúsund km/s og venja er að tákna hann með bókstafnum c . Brotstuðull efnis er því

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

og er bylgjulengdarháður. Í tilrauninni á að mæla brotstuðul og öldulengd ljóss í lofti með víxlmæli *Michelsons* og ákvarða þannig ljóshraðann.



Mynd 1: Víxlmælir Michelsons. Spegillinn D er færanlegur og á leiðinni ADA má koma fyrir hylki með ýmsum lofttegundum undir breytilegum þrýstingi.

2.2 Víxlmælir Michelsons

Í víxlmæli Michelsons er borinn saman fasamunur tveggja þátta ljósgeisla sem ekki fara sömu leið, eins og sýnt er á mynd 1. Ljósgeisli fellur á hálfspjgil eða geisladeili, A, og þar greinist geislinn í tvo þætti. Annar þátturinn fær 90° stefnubreytingu og fellur á spegilinn D, þar sem hann endurvarpast aftur um A að auganu eða ljósnema, E. Hinn þátturinn fer beint í gegnum A og fellur á spegilinn C og endurvarpast að A og fær þar 90° stefnubreytingu og fellur síðan einnig á augað, E. Á síðari leiðinni eru aðstæður venjulega óbreyttar meðan á mælingum stendur og er sú geislaleið notuð sem föst viðmiðun. Færa má spegilinn D með míkroskrúfu og mæla þannig öldulengd ljóss með víxlmælinum.

Á fyrri leiðinni, ADA, má koma fyrir hylki fyrir ýmsar lofttegundir og mæla áhrif þeirra á ljósgeislann borið saman við þann þátt sem fer ACA-leiðina. Gerum ráð fyrir að gashylkið hafi lengd L . Fjöldi bylgjulengda λ sem rúmast í hylkinu á leið geislans fram og til baka má þá skrifa

$$M = \frac{2L}{\lambda}. \quad (3)$$

Víxlmynstrið sem sést í E færir um eina lotu ef M breytist um einn. Höfum því áhuga á jöfnu fyrir breytingu á M . Diffurun á jöfnu 3 gefur rákafjöldann

$$dM = -\frac{2L}{\lambda^2} d\lambda. \quad (4)$$

Eins og áður sagði er brotstuðull hlutfall ljóshraðans í lofttæmi og viðkomandi efni þ.a.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{f\lambda_0}{f\lambda} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (5)$$

þar sem f er tíðni ljósbylgjunnar og λ og λ_0 er bylgjulengd ljóssins í efni annars vegar og í

lofttæmi hins vegar. Diffrun á þessari jöfnu gefur

$$dn = -\frac{\lambda_0}{\lambda^2} d\lambda. \quad (6)$$

Getum nú sett saman jöfnur 4 og 6 sem gefur

$$dn = \frac{\lambda_0}{2L} dM. \quad (7)$$

Þessi jafna tengir rákafjölda við breytingu á brotstuðli. Gerum nú ráð fyrir að rákafjöldinn sé í réttu hlutfalli við þrýstingsbreytingu í hylkinu dp þ.e.

$$dM = k dp \quad (8)$$

þar sem k er hlutfallsstuðullinn. Með því að telja rákafjölda við breytingu á þrýstingi má ákvarða stuðulinn k . Setjum saman jöfnur 7 og 8 og fáum

$$dn = \frac{\lambda_0 k}{2L} dp. \quad (9)$$

Heildun á þessari jöfnu gefur jöfnu fyrir brotstuðul sem fall af þrýstingi í hylkinu

$$\begin{aligned} \int_1^n dn' &= \frac{\lambda_0 k}{2L} \int_0^p dp' \\ n &= 1 + \frac{\lambda_0 k}{2L} p. \end{aligned} \quad (10)$$

3 Tilraun

3.1 Mæling á öldulengd ljóss

Kveikið á ljósgjafa og horfið frá E, gegnum geisladeilinn A, sbr. mynd 1. Víxlmælirinn er tilbúinn til notkunar þegar skýrar víxlunarrákir sjást í tækinu, annars þarf að stilla spegilinn C með stilliskrúfum sem á honum eru. Þar sem aðeins þarf að breyta halla spegilsins örlítið til að raska rákarmynstrinu þarf að gera þetta af natni og mikilli varúð. *Varist að snerta stilliskrúfur, nema í samráði við kennara.*

Spegillinn D er festur við vogarstöng sem færa má með míkrómæli, þannig að færsla spegils er 1:5 af færslu míkrómælis. Þegar spegillinn er hreyfður færast víxlunarrákirnar þvert yfir sjónarsviðið í tækinu vegna breytinga á fasamun milli ljósgeislanna á geislaleiðunum tveimur. Þetta má nota til að mæla öldulengdina. Færslu spegils z má lýsa með jöfnunni

$$z = gx \quad (11)$$

þar sem x er færsla míkrómælis og $g = 1/5 \pm 1\%$ er gírstuðull vogarstangar. Reynið þessar færslur til að ná góðu valdi á stöðugri og hægri færslu víxlunarrákanna.

- Safnið gögnum til að teikna ferilinn $N(z)$ eða $N(x)$, þar sem N er fjöldi ráka, sem fer fram hjá föstum punkti í sjónarsviðinu. Þetta reynir á augun, en flestir ættu að ná að telja upp í 100 rákir. Tengsl rákafjölda við spegilfærslu eru

$$N = \frac{z}{(\lambda/2)}. \quad (12)$$

- Túlkið þessi mæligögn með því að lesa öldulengd ljóssins út úr þeim.

3.2 Ljóshraði í lofti

Á ljósleiðinni ADA er komið fyrir hylki, sem dæla má í/úr einhverri lofttegund. Lengd þess er $L = 50.0 \pm 0.5$ mm. Á viðmiðunarleiðinni ACA er komið fyrir tveimur glerjum sem eru eins og gluggar hylkisins til að tryggja að báðar leiðir séu að öðru leyti eins. Á gashylkinu eru þrír stútar; einn er tengdur við loftdælu, annar við þrýstingsmæli og sá þriðji er tengdur andrúmslofti í gegnum lokukerfi. Þegar búið er að stilla spegla þannig að rákir sjáist skýrt og greinilega, er lokinn inn á loftdæluna opnaður og kerfið lofttæmt. Lofti er hleypt rólega inn á kerfið aftur um leið og rákafærslur dM eru taldar. Framkvæmið eftirtalda tvo liði fyrir andrúmsloft. *Byrjið ekki á þessum þætti fyrr en kennari hefur leiðbeint ykkur um öryggisatriði, stjórn á gasflæði og stillt upp líkani til túlkunar á gögnum.*

- Safnið gögnum til að teikna ferilinn $dM(\Delta p) = k\Delta p$, þar sem Δp er þrýstingsbreyting, og dM rákafjöldi sem fer hjá ákveðnum punkti í sjónarsviðinu við þessa þrýstingsbreytingu. Ákvarðið stuðulinn k .
- Túlkið þessi gögn með því að lesa úr þeim brotstuðul gassins við þrýstinginn $p = 760$ mmHg og ljóshraðann. Tengslum brotstuðuls n við þrýsting er lýst með jöfnu 10.