

Brotstuðull og ljóshraði

Tilvísun

1. Young & Freedman: *University Physics*, kaflar 33 og 35.
2. Hecht: *Optics*
3. Benson: *University Physics*, kaflar 35 og 37.6.

1 Inngangur

Tilraunin fjallar um mælingar á hraða ljóss í gasi og föstu efni, og áhöld til þeirra mælinga.

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;

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

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 þús. km/sek og venja er að tákna hann með bókstafnum c . Í tilrauninni á að mæla ljóshraða í nokkrum efnum og verða notaðar þrjár mismunandi aðferðir.

- Í fyrsta lagi skal mæla ljóshraða í gleri með ljósbroti, sem hlutfall af c , og kanna hvort og þá hvernig hraðinn breytist með öldulengd ljóssins. Talað er um gliðnun eða tvístrun (e. dispersion), þegar hraðinn er háður öldulengd.
- Í öðru lagi skal mæla öldulengd og ljóshraða í lofti með víxlmæli Michelsons.

2 Ljósbrott

Ljósbrott (e. refraction) kemur fram þegar ljósgeisli fer úr einu efni í annað. Því er lýst með reglu Snell's,

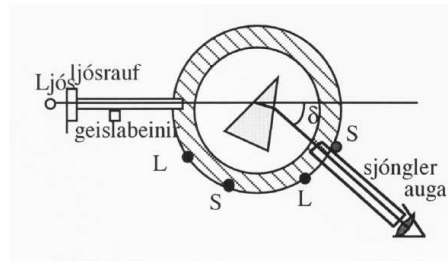
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad (2)$$

þar sem n_x eru brotstuðlar efnanna og θ_x stefnuhorn geislanna miðað við normal á skilflöt efnanna tveggja. Lögmál Snell's er nátengt einni reglu Fermat's sem segir að ljósgeisli fari þá leið milli tveggja punkta, sem tekur skemmstan tíma.

Ljósbrott í prisma má mæla með hornamæli, svonefndum gonometra. Táknmynd af slíku tæki er sýnd á mynd 1.

2.1 Notkun hornamælis

Með tæki þessu er ljósi beint gegnum geislabeini (e. collimator) að prisma, þar sem ljósgeislinn brotnar og stefnubreyting um vikhornið δ á sér stað. Með stillingu á geislabeini og sjónpípu má fá skarpa mynd af mjórri ljósrauf, sem stýrir ljósflæðinu inn í tækið. Í linsukerfi sjónpípunnar



Mynd 1: Táknmynd af hornamæli til mælinga á ljósbroti. Kynnið ykkur vel notkun á skrúfunum S og L. Stilliskrúfur S eru virkar þegar læsingar L eru hertar. Reynið ekki að snúa læstu borði eða sjóngleri með handafli.

er þráðakross til viðmiðunar við mælingar á hornstöðu litrófslína. Í byrjun tilraunar, áður en prismað er sett á borðið, skal stilla sjónpípu í þá hornstöðu að mynd ljósraufar falli ofan í þráðarkrossinn. Lesið hornstöðu sjónpípu af gráðuboga.

Athugið að með skrúfunni L má læsa sjónpípunni á litlu hornabili og síðan fínstillast hornstöðuna með skrúfunni S. Kynnið ykkur þessar stillingar og gætið þess að reyna ekki meiriháttar færslu á sjónpípu eftir að henni hefur verið læst, slíkt gæti skemmt vandaðan búnað.

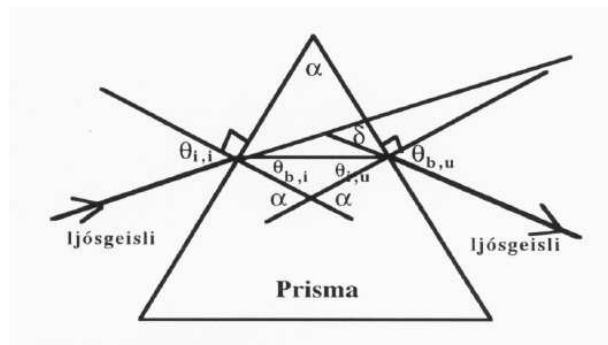
Þegar þessum stillingum er lokið er prisma sett á borðið og tekið til við mælingar á vikhorni ljóss, sem fellur á prismað.

2.2 Mæling á vikhorni

Mynd 2 sýnir ljósbrot á tveimur flötum prisma með topphorn α . Vikhornið er táknað með δ . Almennt eru venslin milli n og δ flókið samband af innfallshorni, útfallshorni og topphorninu α . Hins vegar einfaldast hornafræðin mjög, þegar prismanu er snúið þannig að geislagangurinn er samhverfur um miðlínu gegnum topphorn prismans. Í þessu tilviki **verður vikhornið minnst** og þá má reikna ljósbrotstuðulinn fyrir prismað samkvæmt jöfnunni;

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (3)$$

Notað er prisma með topphorn $\alpha = 60^\circ 00' \pm 1'$. Ljósgeisla í þessari tilraun er kvikasílf-urslami, sem gefur frá sér nokkrar skærar litrófslínur og hentar því vel til að kanna hvort



Mynd 2: Ljósbrot í prisma með topphorn α . Vikhornið δ sýnir stefnubreytingu ljósgeislans. Vikhornið er minnst þegar geislagangurinn er samhverfur um topphornið.

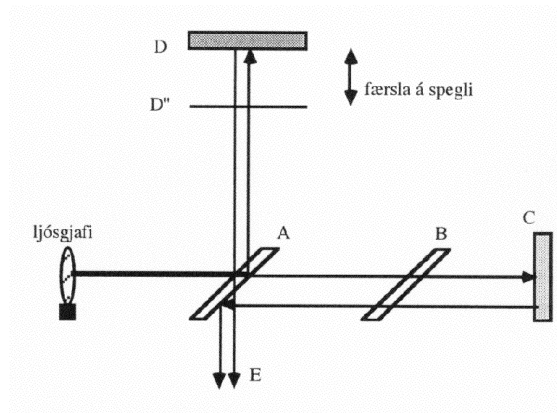
Tafla 1: Litrófslínur í ljósi kvikasilfurslampa.

Öldulengd (nm)	Litur	Styrkur
709.2	dimmrauður	mjög daufur
691.1	dimmrauður	daufur
672.0	dimmrauður	mjög daufur
623.7	rauður	daufur
612.5	appelsínurauður	mjög daufur
607.4	appelsínurauður	mjög daufur
579.1	gulur	mjög bjartur
577.1	gulur	mjög bjartur
546.1	grænn	mjög bjartur
491.7	blágrænn	allbjartur
435.8	blár	bjartur
407.8	fjólublár	daufur
404.7	fjólublár	daufur

ljósbrot og þar með ljóshraði er háður öldulengd ljóssins. Í meðfylgjandi töflu er listi yfir helstu litrófslínur í Hg-ljósi og styrkur þeirra gróflæga metinn.

2.3 Framkvæmd

- Mælið hornstöðu sjónpípu, θ_0 , þegar henni er beint að mynd af ljósraufinni án þess að prisma sé á borðinu.
- Setjið glerprisma á miðborðið, stillið stöðu prisma á minnsta vikhorn, og mælið stefnuhorn θ þeirra litrófslína sem tilgreindar eru í töflu 1.
- Reiknið brotstuðul, n , fyrir litrófslínurnar. Gerið graf af n eða $(n - 1)$ sem fall af öldulengd. Ferillinn verður ekki línulegur og ekki er einfalt að lesa kennistærðir um prismað úr ferlinum.
- Finnið hraðamun á rauðu og fjólubláu ljósi í prismanu.
- Lítið nú á $n - \lambda$ grafið ykkar sem kvörðunarferil fyrir prismað til litrófsgreiningar óþekkts ljósgjafa. Metið með hve mikilli nákvæmni megi lesa bylgjulengdir nærri 400 og 600 nm úr mælingu á brotstuðli prismans.
- **Valfrjáls liður.**
Stærðin $f(n) = \frac{1}{n^2 - 1} = A(1 - \lambda_0^2(1/\lambda)^2)$ er línuleg í $1/\lambda^2$. Fyrir efni sem eru gegnsæ á sýnilega sviðinu ætti kennistærðin λ_0 að liggja á útfjólubláa sviðinu. Teiknið $f(n)$ sem fall af $1/\lambda^2$ og lesið gildi á λ_0 úr ferlinum.



Mynd 3: Víxlmælir Michelsons.

3 Víxlmælir Michelsons

Í víxlmæli Michelsons er borinn saman fasamunur tveggja þátta ljósgeisla, sem ekki fara sömu leið. Sjá mynd 3. 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 standur og er sú geislaleið notuð sem föst viðmiðun. 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. Einnig má færa spegilinn D með míkroskrúfu og mæla þannig öldulengd ljóss með víxlmælinum.

- Kveikið á ljósgjafa og horfið frá E, gegnum geisladeilinn, A. 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.*

3.1 Mæling á öldulengd ljóss

Spegillinn D er festur við vogarstöng sem færa má með míkromæli, þannig að færsla spegils er 1:5 af færslu míkromælis. 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

$$z = gx \quad (4)$$

þar sem x er færsla míkromælis 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 spegelfærslu eru

$$N = \frac{z}{(\lambda/2)}. \quad (5)$$

- 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. Tengslum brotstuðuls n við þrýsting er lýst með

$$n = 1 + \frac{k\lambda}{2L} p \quad (6)$$

- Túlkið þessi gögn með því að lesa úr þeim brotstuðul gassins við þrýstinginn $p = 760$ mmHg.