

Ljósgeislafræði

Lesefni til hliðsjónar

1. Walker: *Halliday and Resnick's Principles of Physics*, 11. útgáfa, kafli 34.

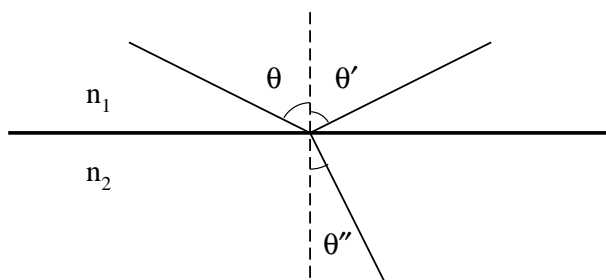
1 Kynning á hugtökum

1.1 Ljósgeislar, brotstuðull og speglun

Ljós er rafsegulbylgja, hátíðnisveiflur í rafsviði og segulsviði. Útbreiðslustefna ljóssins er á hverjum stað hornrétt á bylgjuþröm (e. wavefront) sveiflnanna. “Efnið” sem ljósið flæðir um er einkennt með *ljósbrotstuðli* n , sem lýsir svörun efnisins við rafsegulbylgjunum og hraða ljóssins í efninu. Ljósbrotstuðull loftæmis (e. vacuum) er $n = 1$ en almennt er ljósbrotstuðull í efni hærri en 1.

Ferill sem rakinn er eftir útbreiðslustefnu ljóss frá ákveðnum punkti kallast *ljósgeisli*. Í einsleitum (e. homogeneous) efni þar sem brotstuðullinn n er fasti (þ.e. óháður rúmhnitum) eru ljósgeislar beinar línur. Við skilflöt tveggja efna með brotstuðla n_1 og n_2 klofnar geislinn í tvennt, speglaðan hluta í upprunaefni geislans og brotinn geisla handan skilflatarins. Styrkhlutfall geislanna ræðst af innfallshorni geislans, θ , og hlutfalli brotstuðlanna, n_2/n_1 .

Stefna geislanna er tilgreind með frávikshorni frá normal við speglunarflötinn. *Innfallshornið* sem upprunageislinn myndar við normalinn köllum við θ , *útfallshornið* sem speglaði geislinn myndar við normalinn θ' , og *brothornið* sem brotinn geislinn myndar við normalinn θ'' . Hornin eru



Mynd 1: Spegln og ljósbrot á skilfleti tveggja efna. Innfallsplanið liggur í myndplaninu. Myndin sýnir hvernig ljósgeislinn brotnar þegar hann fer úr efni með lægri brotstuðul n_1 í efni með hærri brotstuðul n_2 .

samkvæmt venju öll talin með jákvæðu formerki. Sambandi milli þessara horna er lýst með spegl-unarlögmálinu,

$$\theta = \theta' \quad (1)$$

og lögmáli Snells,

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta'' \quad (2)$$

þar sem n_1 á við efnið sem innfallsgeislinn liggur í og n_2 við efnið sem inniheldur brotna geislann. Innfallsgeisli, normall og speglaður geisli liggja allir í sama fleti sem nefndur er *innfallsplan*.

1.2 Holspeglar, linsur, brennivídd, myndir og fyrirmyndir

Speglum og linsum er lýst með kennistærðinni brennivídd f . Hún hefur víddina lengd. Spegill eða linsa safna geislum frá *fyrirmynd* í fjarlægðinni s (frá spegli/linsu) í *mynd* í fjarlægðinni s' (frá spegli/linsu). Í sumum tilfellum þarf reyndar að framlengja spegluðu/brottnu geislana til baka í gegnum spegil/linsu til að fá safnpunkta í mynd. Þá er myndin kölluð *launmynd*, annars *raunmynd*. Samband milli þessara stærða ræðst af f með eftirfarandi jöfnu:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

Um formerkin á stærðunum s , s' og f gilda eftirfarandi reglur

1. s er alltaf talið jákvætt.
2. Ef linsa liggur á milli fyrirmyndar og myndar er s' talið jákvætt (raunmynd), annars neikvætt (launmynd).
3. Ef spegill liggur á milli fyrirmyndar og myndar er s' talið neikvætt (launmynd), annars jákvætt (raunmynd).

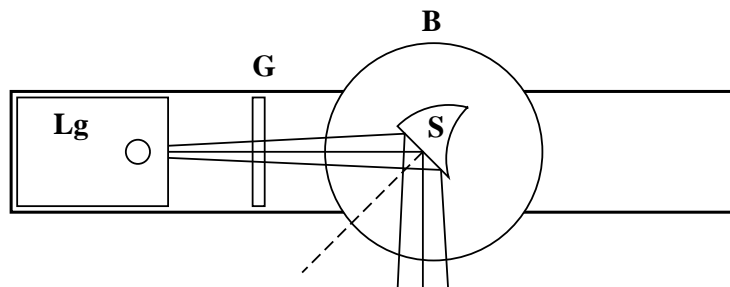
Samkvæmt þessum reglum og jöfnu (3) fá safnlinsa og íhvolfur (e. concave) spegill jákvæð gildi á brennivídd f en dreifilinsa og kúptur (e. convex) spegill neikvæð gildi.

Stækkun sjóntækja M_l skilgreinum við sem hlutfall hæðar (eða lengdar) myndar h' og hæðar fyrirmyndar h . Hæðin er mæld í föstu hnitakerfi þannig að stefnur eru táknaðar með formerkinu. Raunmynd úr einföldu kerfi með eina linsu/spegil snýr andstætt við fyrirmyndina, þ.e. víxlað hefur verið á hugtökunum hægri og vinstri annarsvegar og upp og niður hinsvegar, og þannig fæst neikvætt gildi á M_l . Stækkun er táknuð við s og s' með eftirfarandi jöfnu.

$$M_l = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s} \quad (4)$$

2 Tilraun

2.1 Speglnun í planspegli

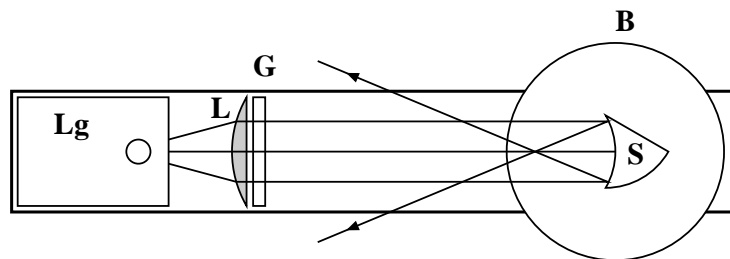


Mynd 2: Speglnun kúlubylgju á planfleti. (Lg) (punkt-) ljósgjafi, (G) geislagreiða, (B) hvítt blað, (S) spegill.

Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 2. Geislagreiðan (G) hleypir nokkrum aðskildum geislum í gegn frá ljósgjafanum. Leggið hvítt blað á borðið (B) og spegilinn ofan á það (S) þannig að geislarnir falli á flata hlið hans. Dragið strik á blaðið eftir brún spegilsins og eftir braut geislanna, bæði innfalls- og útfallsgeisla.

- Berið afstöðu innfalls- og útfallsgeisla saman við speglunarlögmálið (jafna (1)).
- Framlengið strikin á blaðinu (geislana) til að staðsetja fyrirmynd og mynd (og ákvarða þannig stærðirnar s og s'). Ákvarðið brennivídd spegilsins (eða stærðina $\frac{1}{f}$) með jöfnu (3).

2.2 Brennivídd holspegils



Mynd 3: Speglnun planbýlgju á íhvolfum fleti. (Lg) ljósgjafi, (L) safnlinsa (innbyggð í ljósgjafann), (G) geislagreiða, (B) hvítt blað, (S) holspegill.

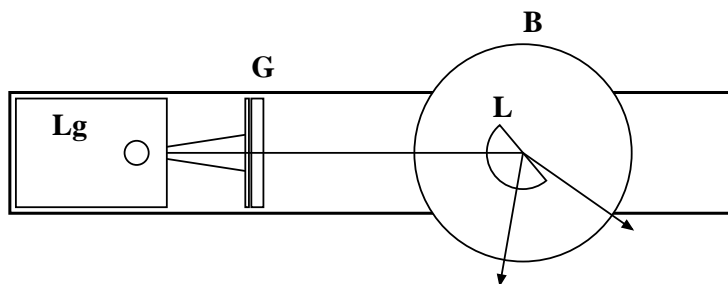
Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 3. Í ljósgjafanum er innbyggð safnlinsa sem hægt er að færa til þannig að **geislarnir verði samsíða**. Veljið þrjá geisla úr, snúið speglinum þannig að geislarnir falli á íhvolfu hliðina og miðgeislinn speglist á sjálfan sig. Dragið strik

eftir brautum geislanna og notið þær upplýsingar til að finna brennivídd spegilsins og óvissumörk þeirrar ákvörðunar. Samband brennivíddar spegils og krapparadía hans R er gefið með

$$f = \frac{R}{2}. \quad (5)$$

(Athugið að hér höfum við ekki viðmiðunargildi til að bera mælinguna saman við.)

2.3 Lögmál Snells og alspeglun



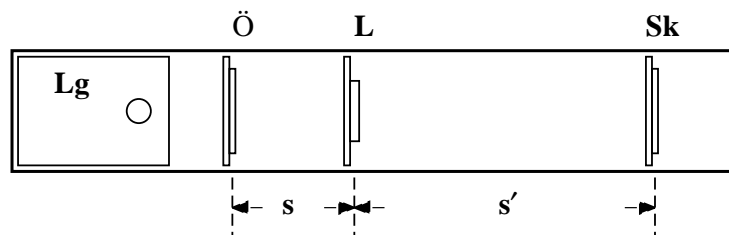
Mynd 4: Ljósbrott og speglun á skilfleti tveggja efna. (Lg) ljósgjafi, (G) geislagreiða, (B) gráðubogi, (L) sívöl linsa (hálfmáni).

Alspeglun fæst við að ljósgeisli fellur á skil tveggja efna frá "pykku" hliðinni (ljósgeislinn kemur að skilunum í efninu sem hefur hærri brotstuðul) þannig að lögmál Snells mælir fyrir um $\sin \theta'' > 1$. Þessu skilyrði verður ekki fullnægt fyrir rauntölugildi á θ'' , svo að ljósbrott er útilokað og allur geislinn speglast. Um innfallsmarkhornið θ_a þar sem alspeglun hefst gildir samkvæmt lögmáli Snells

$$\sin \theta_a = \frac{1}{n} \quad (6)$$

þar sem n er hér hlutfall brotstuðlanna í efnunum tveimur. Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 4. Notið geislagreiðu þannig að einungis einn geisli komi frá ljósgjafanum og stillið upp gráðuboga þannig að ljósgeislinn skeri miðju hans. Komið sívalri linsu (e. cylindrical lens) fyrir á miðjum gráðuboganum þannig að **krappaás kúpta flatarins falli saman við snúningsás borðsins**. Með geisla og linsu í þessari stöðu er tryggt að geislinn brotnar ekki við að fara inn um kúptan flötinn á linsunni, þar sem hann fellur saman við normal á flötinn. Á planfleti linsunnar brotnar geislinn.

- Mælið pör af innfalls- og brothornum við mismunandi hornstöðu borðsins og notið þessi gögn til að meta brotstuðul linsunnar og markhornið θ_a . Veljið brothorn á öllu bilinu $0^\circ \leq \theta'' \leq 90^\circ$.
- Ákvarðið brotstuðul linsunnar út frá alpeglunarhorninu og jöfnu (6).



Mynd 5: Myndvarpa. (Ö) örvaþyrirmynd eða geislagreiða, (L) safnlinsa, (Sk) skermur.

2.4 Linsur

Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 5. Notið geislagreiðu með ~ 10 mm bili á milli lína sem fyrirmynd. Notið linsu með brennivídd $f = 50$ mm. Byrjið með fjarlægðina $s \simeq 400$ mm milli geislagreiðunnar og linsu (L). Færið skerminn (Sk) til uns skýr mynd af línunum geislagreiðunnar fæst. Mælið hvernig stærðirnar s' og h' breytast sem fall af s fyrir $s \leq 400$ mm. Notið linsujöfnuna og skilgreiningu á M_l til að meta brennivídd linsunnar.

Með umskrift á jöfnu (3) fæst

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s} \quad (7)$$

sem sýnir að á milli stærðanna $\frac{1}{s'}$ og $\frac{1}{s}$ er línulegt samband með hallatöluna -1 , og að upplýsingar um f liggja í skurðpunktum línunnar við ása hnitakerfisins $(\frac{1}{s}, \frac{1}{s'})$.

Á svipaðan hátt getum við umskrifað samband $M_l = h'/h$ við s á formið

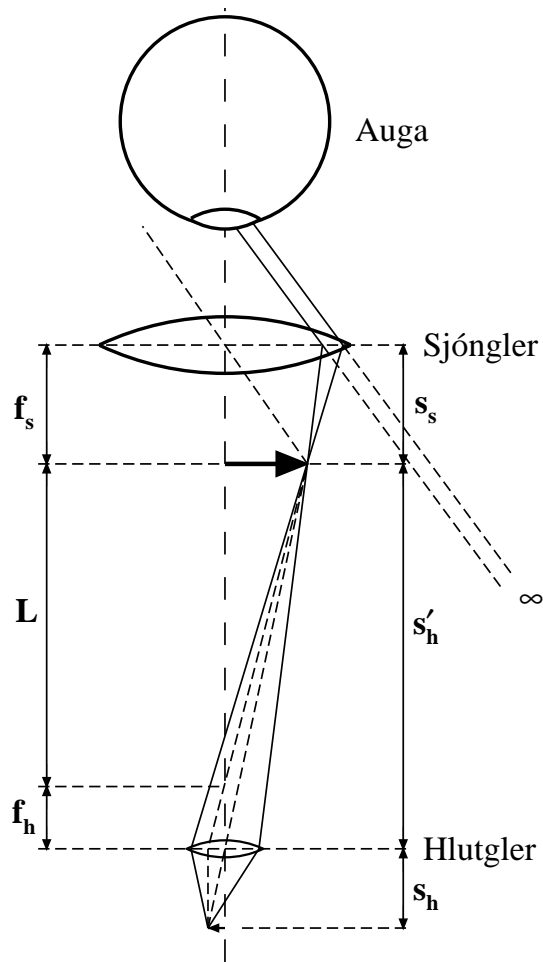
$$\frac{1}{M_l} = \frac{-1}{f} \cdot s + 1 \quad (8)$$

Hér liggja upplýsingar um f í hallatölu línunnar $\frac{1}{M_l}(s)$. Í aðgerðinni að lesa kennistærðir út úr stuðlum línulegs sambands felst að tekið er vegið meðaltal þessara stærða yfir gagnasafnið.

2.5 Smásjá

Sýnitraun án skráningar.

Uppbygging einfaldrar smásjár sést á mynd 6. Linsan sem næst er sýninu hefur brennivíddina f_h og kallast hlutgler. Hin linsan með brennivídd f_s kallast sjóngler. Fjarlægðin L milli aðliggjandi brennipunkta linsanna kallast stokklengd. Fjarlægðin milli sýnis og hlutglers er stillt þannig að mynd af sýninu fæst í myndplani sjónglersins (plan sem er hornrétt á ás smásjárinnar og inniheldur brennipunkt sjónglersins). Sjónglerið gefur nú mynd af því sem í myndplaninu er, í fjarlægðinni $s'_2 = \infty$. Heildarhornstækkun þessa kerfis M fæst sem margfeldi (línulegrar) stækkunar hlutglersins M_h og hornstækkunar sjónglersins M_s . Stækkun hlutglersins getum við táknað við



Mynd 6: Skýringarmynd af smásjá. Fjarlægðin L milli brennipunkta linsanna er kölluð stokklengd, f_x eru brennivíddir linsanna, s_x fjarlægðir fyrirmynda frá linsum og s'_x fjarlægðir mynda frá linsum.

stokklengdina L með linsjöfnunni og skilgreiningu á L .

$$M_h = \frac{s'}{s} = s' \left(\frac{1}{f_h} - \frac{1}{s'} \right) = (L + f_h) \left(\frac{1}{f_h} - \frac{1}{L + f_h} \right) = \frac{L}{f_h} \quad (9)$$

M_s er samkvæmt skilgreiningu

$$M_s = \frac{0.25 \text{ m}}{f_s} \quad (10)$$

Með þessu móti fæst heildar hornstækkun smásjárinnar

$$M = M_h \cdot M_s = \frac{L \cdot 0.25 \text{ m}}{f_h \cdot f_s} \quad (11)$$

Stillið upp smásjá á ljósbekkinn með $f_s = 100 \text{ mm}$ sjóngleri og $f_h = 50 \text{ mm}$ hlutgleri og veljið $L = 180 \text{ mm}$. Notið kvarðaplötu eða mynsturplötu fyrir sýni. Færið sýnið til svo skýr mynd fáiist í smásjánni.