

Ljósgeislafræði

Tilvísun

1. Young & Freedman: *University Physics*, kafli 34.
2. Fowles: *Introduction to Modern Optics*, kafli 10.
3. Hecht: *Optics*, kaflar 4 og 5.
4. Benson: *University Physics*, kaflar 35 og 36.

1 Inngangur

Tilraunin fjallar um grunnatriði ljósgeislafræði; geislarakningu, speglun, lögmál Snells, kennistærðir og eiginleika spegla og linsa, og einföld sjóntæki. Tækjabúnaður er ljósbekkur ásamt fylgihlutum. Hér verður aðeins drepð á helstu hugtök ljósgeislafræðinnar, en nemendum er vísað til heimildanna hér að ofan um alla nánari umfjöllun.

2 Kynning á hugtökum

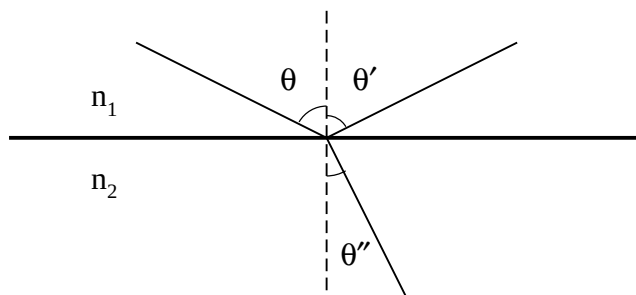
2.1 Ljósgeislar, brotstuðull og speglun

Ljós er rafsegulbylgja, hátíðnisveflur í rafsviði og segulsviði. Útbreiðslustefna ljóssins er á hverjum stað hornrétt á bylgjuþröm (e. phasefront) sveiflnanna. “Efnid” 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 $n=1.0$.

Ferill sem rakinn er eftir útbreiðslustefnu ljóss frá ákveðnum punkti kallast *ljósgeisli*. Í einsleitu (e. homogeneous) efni þar sem n er fasti 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 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 brotni geislinn myndar við normalinn θ'' . Hornin eru samkvæmt venju öll talin með jákvæðu formerki. Sambandi milli þessara horna er lýst með speglunarlögmálinu,

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



Mynd 1: Speglnun og ljósbrot á skilfleti tveggja efna. Innfallsplanið liggur í myndplaninu.

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*.

2.2 Holspeglar, linsur, brennivídd, myndir og fyrirmyndir

Spegilum 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:

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

Flóknar reglur gilda um samræmingu á formerkjagjöf á stærðunum s , s' og f . Verra er að notaðir eru margir staðlar um þessa samræmingu. Hér fylgir einfölduð útgáfa af reglum um formerkjagjöf:

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

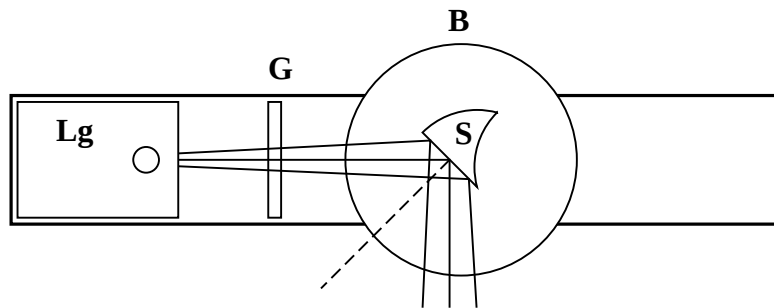
Samkvæmt þessum reglum og jöfnu (3) fá safnlinsa og íhvolfur (e. concave) spegill jákvæð gildi á brennivídd f en dreifilinsa og kúptur (e. convex) spegill neikvæð gildi.

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.

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

En (línulega) stækkunin M_l segir ekki alla söguna. Með aukinni fjarlægð s' hækkar M_l án þess að athugandi verði miklu nær um smáatriði fyrirmyndarinnar ef hann getur ekki fylgt myndinni eftir. Þá verður hornið sem athugandinn sér myndina undir mikilvægari stærð en mál sjálfrar myndarinnar. Hugtakið hornstækkun M_a skilgreinum við sem hlutfall horns sem mynd af fyrirmynd í fjarlægðinni f frá linsu sést undir á móti horni sem fyrirmyndin sést undir í fjarlægðinni $0.25m$ frá auga. Fjarlægðin $0.25m$ er talin eðlileg lesfjarlægð fyrir ungmennti með ótruflaða sjón. Hornstækkunina má líka tákna við fjarlægðir með

$$M_a = \frac{0.25m}{f} \quad (5)$$



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

3 Tilraun

3.1 Speglnun í planspegli

Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 2. Geislagreiðan (G) hleypir nokkrum aðskildum geislabúntum í gegn. Teiknið strik á hvítt blað, leggið blaðið á hringborðið (B) og spegilinn (S) (e. ray optics mirror) á blaðið þannig að geislarnir falli á flata hlið hans og brún spegilsins nemi við strikið á blaðinu. Dragið strik á blaðið eftir braut geislanna, bæði innfalls- og útfallsgeisla.

Berið afstöðu innfalls- og útfallsgeisla saman við speglunarlögmálið (jafna (1)).

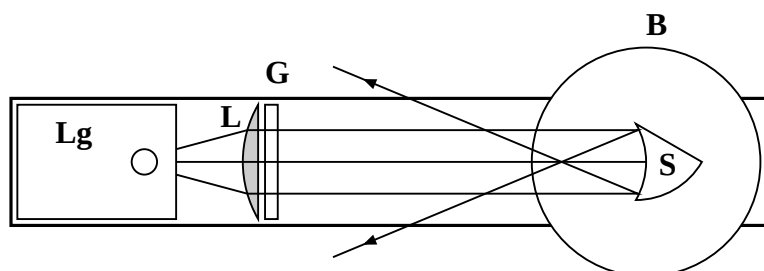
Framlengið strikin á blaðinu (geislana) til að staðsetja fyrirmynd og mynd, og til að ákvarða brennivídd spegilsins (eða stærðina $\frac{1}{f}$) með jöfnu (3).

3.2 Brennivídd holspegils

Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 3. Framan við geislagreiðuna er sett safnlinsa og fjarlægð milli ljósgjafa og linsu **valin 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 hér eins og annarsstaðar. (Ath. Hér höfum við ekki viðmiðunargildi til að bera mælinguna saman við.)

Samband brennivíddar spegils og krapparadía hans R er gefið með

$$f = \frac{R}{2} \quad (6)$$



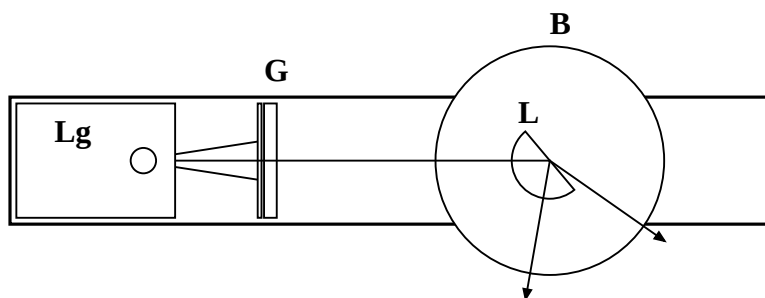
Mynd 3: Speglnun planbýlgju á íhvolfum fleti. (Lg) ljósgjafi, (L) safnlinsa, (G) geislagreiða, (B) hallandi hringborð, (S) holspegill.

3.3 Lögmál Snells og alspeglun

Alspeglun fæst við að ljósgeisli fellur á skil tveggja efna frá "þykku" hliðinni (ljósgeislinn kemur að skilunum í því 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 ljósbrot er útilokað og allur geislinn speglast. Um innfallsmarkhornið θ_a þar sem alspeglun hefst gildir samkvæmt lögmáli Snells

$$\sin \theta_a = \frac{1}{n} \quad (7)$$

þar sem n er hér hlutfall brotstuðlanna í efnunum tveim. Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 4. Utan á geislagreiðuna er sett gríma með einni rifu (e. slit mask), þannig að

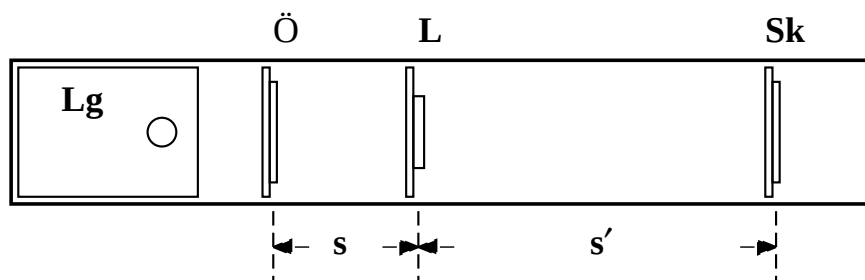


Mynd 4: Ljósbrot og speglun á skilfleti tveggja efna. (Lg) ljósgjafi, (G) geislagreiða og gríma, (B) hringborð, (L) sívöl linsa (hálfmáni).

einangra megi einn geisla. Veljið geislann þannig að hann **skeri snúningsás borðsins**. Komið sívalri linsu (e. cylindrical lens) fyrir á borðinu 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 $0^\circ \leq \theta'' \leq 90^\circ$

3.4 Linsur

Stillið tækjum upp á ljósbekkinn eins og sýnt er á mynd 5. Byrjið með fjarlægðina $s \simeq 400\text{mm}$ milli örvafrimyndar (Ö) (e. crossed arrow target) og linsu (L). Færið skerminn (Sk) til uns skýr mynd af örvunum fæst. Mælið hvernig stærðirnar s' og h' breytast sem fall af s fyrir $s \leq 400\text{mm}$. Notið linsujöfnuna og skilgreiningu á M_l til að meta brennividd linsunnar.



Mynd 5: Myndvarpa. (Ö) örvafrimynd, (L) safnlinsa, (Sk) skermur.

Heilræði: Framsetning og túlkun gagna þar sem við höfum parað saman tvær stærðir verður skýrust ef fundin er vörpun af þessum stærðum á aðrar sem tengjast með línulegu sambandi. Upplýsingar um kennistærðir kerfisins liggja þá í hallatölu línunnar eða hliðrunarstuðli. Hér hafið þið mælt samband s og s' sem tengjast samkvæmt líkaninu sem lýst er með jöfnu (3). Fallið $s'=g(s)$ hefur gleiðbogaform (hyperbóla). Augu okkar eru ekki sérlega næm fyrir fráviki frá gleiðbogaformi. Hér er því eðlilegra að finna nýjar breytistærðir sem auðvelda okkur að dæma um hvort gögnin falla að líkaninu. Með lítulsháttar umskrift á jöfnu (3) fæst

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s} \quad (8)$$

Nú kemur skýrt fram að 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 $M = h'/h$ við s á formið

$$\frac{1}{M_l} = \frac{-1}{f} \cdot s + 1 \quad (9)$$

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.

3.5 Smásjá

Sjónæki eru endanleg röð af linsum/speglum þar sem mynd n^{tu} einingarinnar er fyrirmynd fyrir einingu $n+1$. Sjónækið sem þið gerðuð í lið 3.4, og við getum kallað myndvörpu, var myndað úr einni einingu (safnlinsu). Hér skoðum við nánar tveggja eininga kerfi og verður smásjáin fulltrúi þess.

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 stokklengdina L með linsujöfnunni og skilgreiningu á L .

$$M_h = \frac{s'}{s} = s' \left(\frac{1}{f_h} - \frac{1}{s'} \right) = (L + f_h) \left(\frac{1}{f_h} - \frac{1}{L + f_h} \right) = \frac{L}{f_h} \quad (10)$$

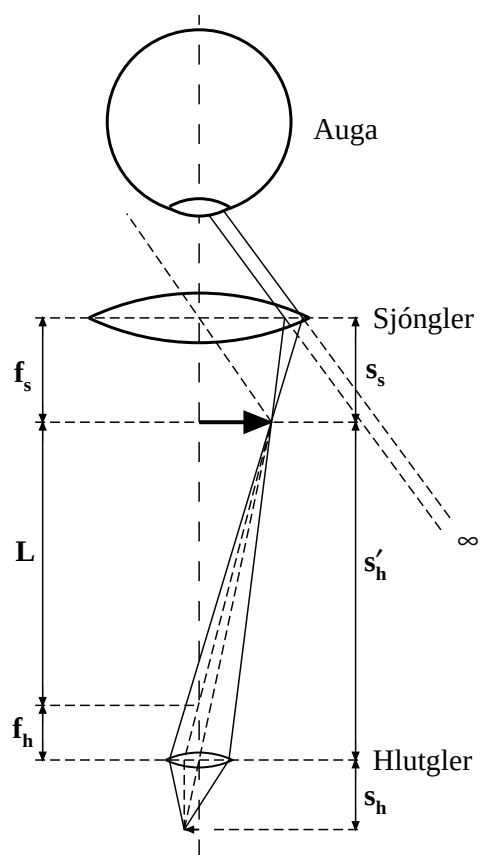
M_s er samkvæmt skilgreiningu

$$M_s = \frac{0.25 m}{f_s} \quad (11)$$

Með þessu móti fæst heildar hornstækkun smásjárinnar

$$M = M_h \cdot M_s = \frac{L \cdot 0.25 m}{f_h \cdot f_s} \quad (12)$$

Stillið upp smásjá á ljósbekkinn með $f_s = 75 \text{ mm}$ sjóngleri og $f_h = 48 \text{ mm}$ hlutgleri og veljið $L = 180 \text{ mm}$. Notið kvarðaplötu og mynsturplötu fyrir sýni. Færið sýnið til svo skýr mynd fáiist í smásjánni. Sannreynið áhrif stækkunar á L á heildar hornstækkunina (án þess þó að reyna að koma tölum á stækkunina).



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