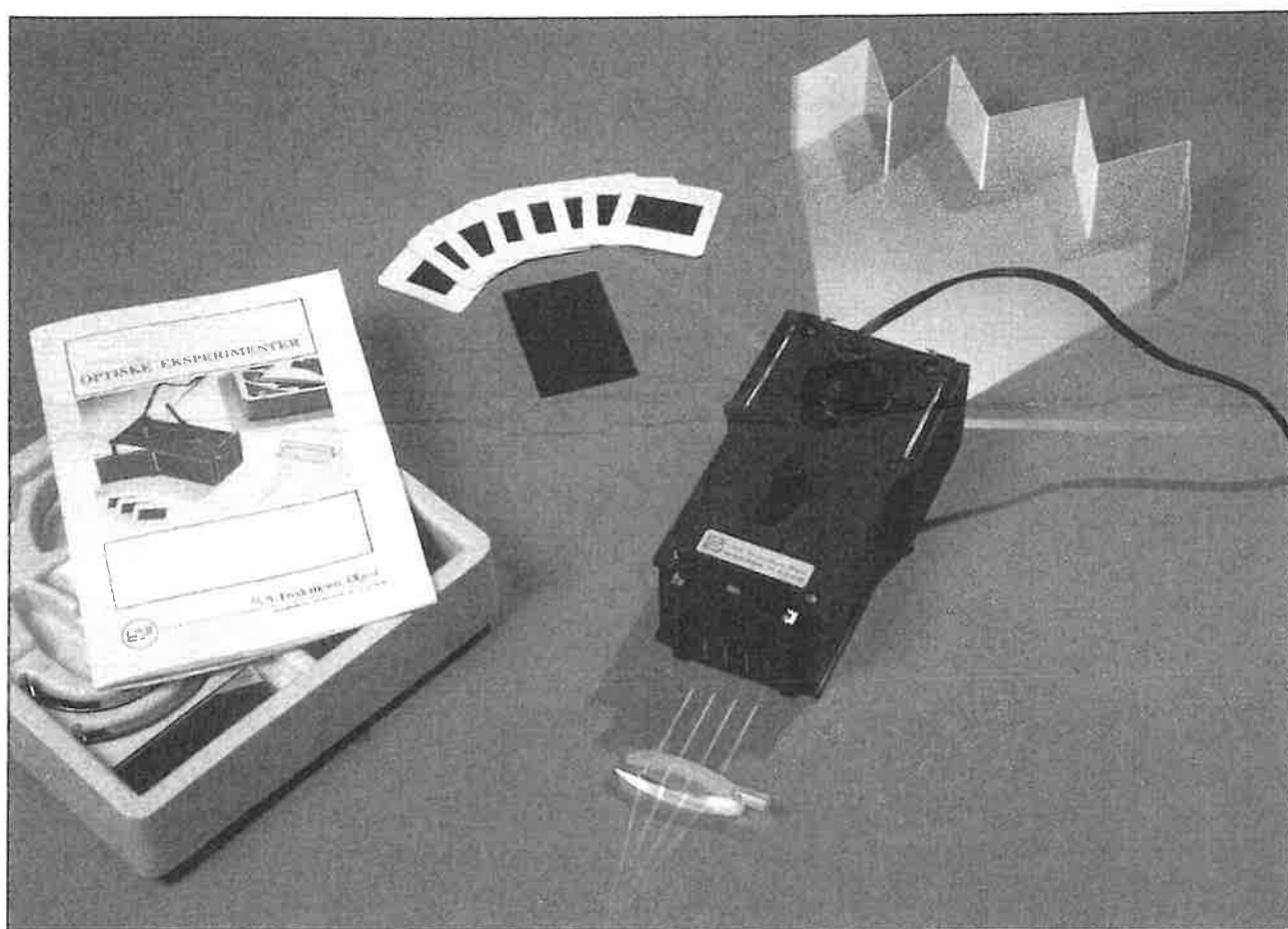


OPTISKE EKSPERIMENTER



A/S Søren Frederiksen
Viaduktvej 35 · DK-6870 Ølgod

Tel. +45 7524 4966 info@frederiksen.eu
Fax +45 7524 6282 www.frederiksen.eu

Frederiksen[®]

Optiske eksperimenter

Denne bog er en dansk oversættelse af den originale engelsksprogede bog der hører til optiksæt nr. 2935.00. Forsøgene der er beskrevet kan alle udføres med optiksættet, og hensigten med oversættelsen er at give brugeren af optiksættet de bedste forudsætninger for at eksperimentere og dermed lære om lysets egenskaber. Bogen er udvidet med et apendix om påvisning af lysets bølgeegenskaber skrevet af Frank Knudsen, Stenvadskolen.

Indholdsfortegnelse:

Stykliste	2
Introduktion og generel beskrivelse ..	3
Spejling og refleksion	4 - 11
Lysets brydning	11 - 18
Farve observationer	18 - 20
Den optiske bænk	20 - 23
Apendix	23 - 24

Oversættelse: Stig Andersen

Copyright:

A/S S. Frederiksen, Ølgod

Stykliste:

Optiksettet - katalog nr. 2935.00 - indeholder:

1 stk. Lysboks.	1 stk. forsøgsvejledning.
Prismer/Linser:	2 stk. spalteblænder.
1 stk. rektangulær.	1 stk. planspejl.
1 stk. ligebenet (45,45,90°).	1 stk. halvrundt spejl.
1 stk. ligesidet (60, 60, 60°).	1 stk. parabolspejl.
1 stk. 30, 60, 90°.	1 sæt med 8 farvefiltre: Rød, grøn, blå, gul, orange, cyan, magenta og violet.
1 stk. halvrund blok.	1 sæt farvekort.
1 stk. dobbelt-konkav.	1 stk. reservepære til lysboks, 12 V - 36 W.
1 stk. dobbelt konveks.	
1 stk. dobbelt konveks (stor).	

N.B.: Lysboksen er meget robust, og tager på ingen måde skade af varmen som opstår, når den er tændt i længere tid. Men man bør være opmærksom på, at farvefiltrene ikke efterlades i blændeslidserne i længere tid, da de ellers vil tage skade af varmen.

Når man har 3 filtre indsat samtidig i lysboksens bagende, bør den modsatte ende ikke være tildækket af hensyn til ventilationen. Desuden bør lysboksens underside heller ikke være tildækket eller på anden måde hindre fri passage af luft.

Som strømforsyning kan anvendes en 12 V - 3 A, AC/DC strømforsyning som f. eks. nr. 3610.00.

Pæren der anvendes skal være en 12 V - 36 W, med lodret glødetråd.

A/S S. Frederiksen, Ølgod

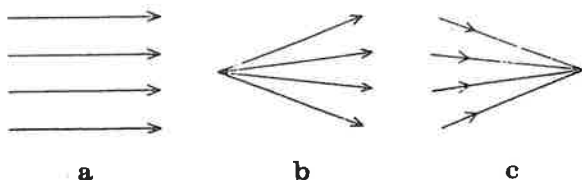
INTRODUKTION OG GENEREL BESKRIVELSE:

Nødvendig strømforsyning: 12 V - 3A f.eks. kat. nr. 3610.00.

Optiksettet består af en lyskilde og et sæt tilbehør som kan reflektere, afbøje, bryde eller farve lyset, således at eksperimenter og observationer let kan foretages.

Lyskilden er indbygget i en specielt designet lysboks med justerbar samlelinse. Lysboksen er i den modsatte ende forsynet med 2 hængslede spejle hvis funktion er at reflektere lyset fra de 2 sideåbninger. Med de tilhørende farvefiltre indsat i blændeslidserne i siden, kan man ved at justere de 2 sidespejle blande lysstrålerne fra sideåbningerne og den fikserede lysstråle i midten, således at de overlapper hinanden. Effekten heraf ses tydeligst på en skærm placeret i en afstand af ca 20 cm fra boksen.

Lyset som sendes gennem samlelinsen i lysboksens front kan samles i en smal lysstråle eller opdeles i 1, 3 eller 4 smalle spaltestråler ved indsættelse af de tilhørende blænder. Disse lysstråler kan ligeledes farves ved indsættelse af et farvefilter i den brede slids der også findes på lysboksens front. Ved justering af samlelinsen kan lysstrålerne gøres let konvergerende eller divergerende.



a) Viser et bundt parallelle stråler, b) Et divergent strålebundt og c) et konvergent strålebundt.

Dette ses lettest ved indsættelse af en blænde med mange spalteåbninger. I særlige tilfælde hvor større konvergens eller divergens er nødvendig kan opstillinger som fig. 1 og fig. 2 anvendes.

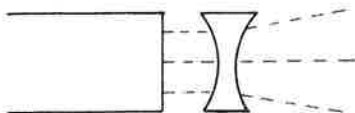


Fig.1.

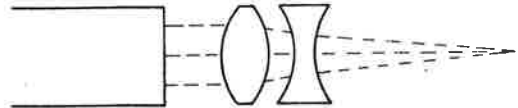


Fig.2.

Forsøgsopstilling:

Placer lysboksen på bordet med fatningen opad, lysboksens 3 støttepunkter sikrer stabilitet under udførelsen af forsøgene. Forbind lampekablerne med en 12 V - 3 A strømforsyning. Pæren kan godt tåle højere spændinger, men det kan ikke anbefales, da det vil forkorte dens levetid væsentligt. Indsæt blænden med de fleste spalteåbninger i den smalle blændeslidse forrest og pres hårdt nedad. Derefter løsnes samlelinsens justeringskrue og der justeres indtil lysstrålerne er parallelle. Placer bloklinser eller prismer og spejle på et stykke papir på et plant underlag i de positioner som angives i forsøgsvejledningen nedenfor.

N.B. Benyt ALTID linsernes greb ved håndteringen, derved undgås snavs og ridser.

For klarest muligt at kunne se lysstrålerne bane gennem linser eller prismer, er linser og prismers top og bund specialbehandlet således at lyset reflekteres. De bedste observationer foretages naturligvis i mørke.

Svage sekundære lysstråler kan sommetider forekomme. De vil oftest ikke være parallelle med primærstrålerne og kan virke forstyrrende. Disse sekundærstråler skyldes lys reflekteret af holderen til pærens glødetråd. Disse lysstråler kan fjernes ved at dreje pærens fatning sådan at glødetrådsholderen er direkte bag glødetråden - set i forhold til lysstrålerne retning.

Når linser eller prismer er anbragt meget tæt på lysboksen kan klare indvendigt spejlede lysstråler blive resultatet. Det skyldes lysstråler som er trængt ind gennem linsens top, eller lys spejlet i de lodrette flader. Desuden vil lysstråler som passerer henover linsen eller prismet ofte være at se i nogen afstand derfra. Dette kan undgås ved:

- * At øge afstanden til lysboksen.
- * At hæve underlaget fra bordet - f.eks. ved at bruge en hel blok istedet for et enkelt ark papir.
- * At afkorte spalteåbningernes længde - de kan f.eks. tildækkes med tape.

Kortlægning af lysstrålerne:

Lysstrålernes bane kan kortlægges ved på papiret at afmærke linsen, prismet eller spejlets omkreds med en blyant. Brug stregpapir (2915.10) eller 10 mm kvadreret papir

Marker derefter midten af den lysstråle der iagttages a) tæt ved linsens overflade b) og på så lang afstand som muligt.

Hvis lysstrålernes baner er mere komplicerede - f.eks. krydsende stråler el. lign. - kan det tilrådes at nummerere punkterne svarende til hver enkelt stråle. Fjern derefter linsen eller prismet og forbind de sammenhørende punkter - svarende til nummereringen - med en lineal sådan at lysstrålernes bane til, fra og igennem linsen eller prismet tegnes op. Eventuelt kan lysstrålernes bane markeres v.h.j.a. pile. Skulle der opstå tvivl når punkterne skal forbindes kan forsøget gøres om, blot ved påny at placere linsen eller prismet i den tidligere afmærkede position og gentage observationerne.

KAP I.

Spejling eller Refleksion.

1. Forsøg: Spejling af en enkelt stråle.

Frembring v.h.j.a. blænden med en spalteåbning en enkelt lysstråle og marker dens start og "slut"punkt. Anbring planspejlet midt på denne bane så den krydses jvf. Fig. 3. nedenfor.

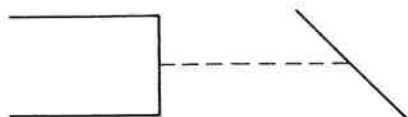


Fig. 3

Marker derefter følgende: a. Spejlets glasforside. b. Spejlets bagkant - d.v.s reflektoren. c. Den reflekterede stråle. Forklar hvorfor den er svagere end indfaldsstrålen.

Tegn en linie d vinkelret på spejlets flade i det punkt hvor den indfaldende og den reflekterede stråle mødes. Denne linie kaldes INDFALDSLØDDET. Mål vinklen mellem indfaldsstrålen og indfaldssloddet denne vinkel kaldes INDFALDSVINKLEN (i). Mål ligeledes vinklen mellem indfaldssloddet og den reflekterede stråle, denne vinkel kaldes UDFALDSVINKLEN (u).

Disse vinkler måles ud fra indfaldssloddet bl.a. fordi vi i senere forsøg vil spejle lysstråler i buede spejle. Da

man ikke kan måle vinklen mellem lysstrålen og en buet overflade, må man tegne en linie vinkelret på den buede overflade og herfra måle indfalds- og udfaldsvinkel.

2. Forsøg: Spejling af divergerende stråler.

Anbring en blænde med 3 spalteåbninger i den smalle blændeslids forrest og frembring v.h.j.a. en spredelinse divergerende stråler. Afmærk lysstrålernes bane på papiret og placer planspejlet således at strålerne rammer det i en vinkel forskellig fra 90° .

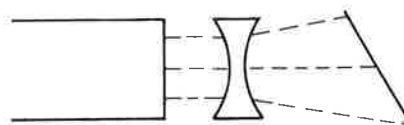


Fig.4.

Afmærk som før spejlets reflektorflade (b). Indtegn strålernes indfaldslod, mål indfalds- og udfaldsvinkler og indsæt dem i skemaet på næste side.

Stråle	Indfaldsvinkel	Udfaldsvinkel
A		
B		
C		

1. Er indfaldsvinklen større, mindre eller lig med udfaldsvinklen ?
2. Du er nu stødt på en af lovene for spejling eller refleksion, prøv selv at formulere den.
3. Var de divergerende stråler også divergerende efter spejlingen ?
4. Hvad sker der når parallelle stråler spejles ? Prøv selv at udføre forsøget.
5. Hvad sker der ved spejling af konvergerende stråler ? Prøv selv.

3. Forsøg: Vandret og lodret spejling.

Frembring med lysboksen 4 parallelle stråler, indsæt et blå filter over spalten i venstre side og et rødt over spalten i højre side (set forfra). Spejl de 2 stråler i planspejlet (de 2 midterste stråler vil være lukket af filterrammerne) på samme måde som før. (Har man et trefarvefilter som f. eks. nr. 3080.00 bliver opstillingen nemmere. De midterste spalter lukkes med sort tape)

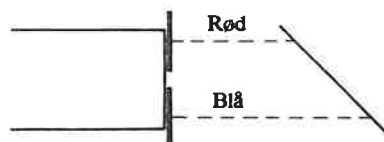


Fig. 5.

Kig nu lige ind i spejlet og iagttag lysstrålernes spejling.

1. Hvilken farve har strålen til venstre ?

Afmærk strålernes bane med forskellige farver så den røde og den blå lysstråles bane kan kortlægges.

2. Hvad sker der med lysstrålerne ved spejling i et planspejl ?

3. Hvordan er det billede du ser når du spejler dig selv, i forhold til det billede dine kammerater ser ?

Hvis begge sider eller halvdele af en ting ser ens ud

4. Hvis højre side bliver til venstre side når du spejler dig, hvorfor bliver op så ikke til ned eller omvendt ?

5. Hvis du holder dit hovede vandret vil spejlingen bytte om på op og ned - prøv selv.

6. Hvis du holder et kort der ser sådan ud L --> R. Hvilket af følgende forslag vil da være det rigtige ? Vent med at prøve det til du har forudsagt resultatet.

L > R	R > L	J > A	R < J	J < A	R > J
L < R	R < L	A > J	A < J	A > L	A < L

Denne metode er almindelig brugt af forskere. Man foretager nogle observationer. Når man derefter mener at have fundet en regel for tingenes sammenhæng formulerer man denne regel. Ud fra den opstillede regel forudsiger man nu resultatet af et eller flere nye eksperimenter og gennemfører dem. Afhængigt af resultatet enten godkender, afviser eller ændrer man teorien.

7. Hvordan passede det resultat du forudsagde med din observation ? Prøv at lave nye forudsigelser og afprøv dem.

8. Hvordan vil det følgende ord se ud, hvis du anbringer planspejlet langs den stiplede line og betragter det fra sidens nederste kant ?

Spejlkant

CARBON-DI-OXID

Nedskriv det forventede resultat inden du prøver.

9. Var din forudsigelse korrekt ? Hvordan ser det samme ord ud hvis det spejles vandret ?

10. Hvordan ville du holde siden hvis du blev bedt om at spejle ordet i et almindeligt spejl ? Og hvordan stemmer det overens med det foregående forsøg ?

11. Hvis ordet skrives på et stykke gennemsigtigt plastic (OHP planche) og holdes op mod spejlet som i de 2 foregående forsøg, hvordan vil det da se ud betragtet igennem plasticen - prøv selv. Du kender sikkert fænomenet fra glasdøre med tekst eller tal på ruden.

12. Skyldes den vandrette spejling, spejlet eller place-

Hvis begge sider eller halvdele af en ting ser ens ud spejlet omkring en midterakse kaldes den SYMMETRISK.

13. Er dit ansigt symmetrisk? Anbring et stort planspejl lodret udfra din næsetip, og prøv så at betragte det i et andet spejl.

14. Hvordan ser du ud med et helt symmetrisk ansigt? Hvilken af de spejlede sider synes du bedst om?

15. Flyt spejlet hen på siden af din næse. Er 2 næser en forbedring?

16. Flyt spejlet sådan at din næse er skjult bag det. Hvad mener du nu om dig selv uden næse med 2 meget tætsiddende øjne?

Symmetriøvelserne kan eventuelt suppleres ved brug af fotografier. Anvend f.eks. et polaroidkamera, billederne klippes i stykker og sættes sammen til illustration af symmetriøvelserne.

4. Forsøg: Spejlbilledets placering.

Når du ser ind i et spejl ser det ud som om dit spejlbillede befinder sig bagved spejlet. Hvis du fjerner dig ca. 0.5 m bort fra spejlet vil spejlbilledet også bevæge sig væk fra dig. Dette lille eksperiment kan hjælpe dig med at bestemme spejlbilledets placering.

Frembring et bundt konvergerende lysstråler henover dit papir og afmærk lysbanerne og skæringspunkt (=brændpunkt).

Brug den viste linsekombination.

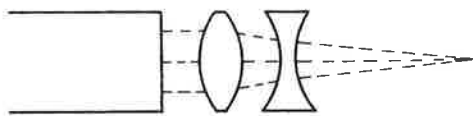


Fig. 6.

Ved at ændre lensernes indbyrdes afstand kan du flytte brændpunktet henholdsvis nærmere ved eller længere bort.

Placer et planspejl i en vinkel på tværs af strålerne og afmærk indfaldsstrålerne og de tilbagekastede strålers bane.

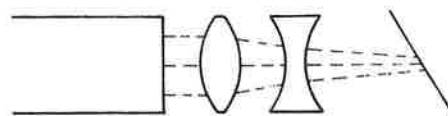


Fig. 7.

Prøv medens du har denne opstilling at fjerne og genindsætte spejlet. Gør det nogle gange og læg mærke til ligheden mellem indfaldsstrålerne og de tilbagekastede stråler. Hvordan vil du beskrive indfaldsstrålerens brændpunkt i sammenligning med de tilbagekastede strålers brændpunkt. Afmærk disse 2 punkter og positionen af planspejlets reflektor, forbind derefter de 2 punkter.

1. Hvilken vinkel dannes mellem denne linie og spejlet?

2. Hvad er afstanden fra indfaldsstrålerens brændpunkt og udfaldsstrålerens brændpunkt i forhold til spejlet?

Gentag forsøget på et nyt stykke papir med et andet bundt konvergerende lysstråler og spejlet nærmere eller fjernere fra brændpunktet. Marker brændpunktet og spejlets position, indtegn de nødvendige linier og mål vinklerne som før. Sæt en nipsenål el. lign. lodret i hver af de 2 brændpunkter (husk at beskytte underlaget).

Du skal nu have en mærkepind foran spejlet og en gemt bagved det. Prøv som før at fjerne og genindsætte spejlet nogle gange.

3. Er den skjulte mærkepind nu i (udfor) samme position som spejlbilledet af den forreste mærkepind?

4. Hvordan påvirkes spejlbilledets position af ændringer i iagttagerens (din) position? Prøv det, men lad være med at ændre i opstillingen.

5A. Forsøg: Flere spejlinger.

Brug planspejlet til at spejle en stråle i en spejlingsvinkel på 45-50° og læg nøje mærke til spejlingerne.

1. Hvor mange spejlinger er der?

2. Hvilken spejling er den tydeligste?

Betragt omhyggeligt spejlet oppefra og ned, aftegn derefter lysstrålernes bane så præcist som muligt.

3. Hvordan vil du forklare at lyset spejles i en vinkel på ca. 90° ?

Prøv selv at fortsætte forsøgsrækken for at undersøge om alle 3 spejlinger af lysstrålerne finder sted hvis vinklen ændres til 10° , 20° o.s.v. op til 90° .

4. Hvilke spejlede stråler forsvinder og ved hvilke vinkler sker det ?

5. Hvorfor er denne spejling den svageste af dem ?

Anbring den rektangulære linse foran spejlet og gentag forsøgene og observationerne.

5B. Forsøg: Flere spejlinger.

Anbring 2 planspejle - lån evt. et fra et andet sæt - i en vinkel af 90° i forhold til hinanden og lad en lysstråle ramme et af dem i en vilkårlig vinkel i et punkt ca. 25 mm fra hvor de 2 spejle mødes.

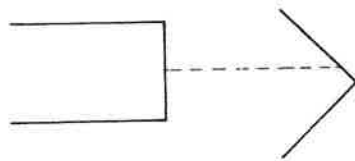


Fig. 8.

Læg mærke til den kraftigste af de spejlede stråler - udelad de svage sekundære stråler - og afmærk hvordan den spejles af begge spejlene, brug pile til at markere lysets retning.

1. Hvilken retning har den spejlede stråle i forhold til indfaldsstrålen ?

2. Er resultatet det samme uanset indfaldsstrålens vinkel i forhold til spejlene ?

3. Prøv at se ind i hjørnet af spejlene, hvad ser du ?

4. Hvad sker der hvis du skifter position ?

Prøv at placere et tredje planspejl vinkelret på de 2 andre spejle. Hvis du ikke kan skaffe et tredje spejl kan du prøve at tegne situationen ind på et stykke ternet papir.

Det var et reflektorsæt som disse astronauterne anbragte på månen. Prøv at kigge ind på disse 3 spejle fra forskellige sider i forskellige vinkler, prøv også at

se ind i det nye hjørne fra alle retninger.

5. Hvad ser du i dette hjørne ?

6. Prøv at sende en lysstråle direkte ind i et af hjørnerne. Hvordan ser spejlingen ud ?

7. Hvorfor tror du astronauterne brugte sådan et reflektorsæt ?

8. Hvilken form for lysstråle blev sendt ind i denne reflektor ? Og med hvilket resultat ?

9. Da videnskabsmændene allerede kendte resultatet af en sådan spejling foretaget på jorden, hvad ville de da opnå ved at placere reflektoren på månen ?

10. Prøv at undersøge reflektorerne bagpå en bil eller cykel, hvilken facon har de ? (katteøje)

6. Forsøg: Rotation af et planspejl.

Frembring en enkelt lysstråle og lad den ramme planspejlet som vist på tegningen. Afmærk indfaldsstrålen, spejlets reflektorflade (M1) og den tilbagekastede stråle (R1).

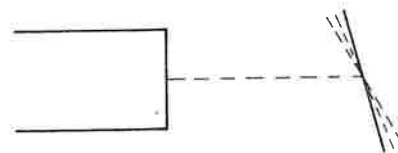


Fig. 9.

Drej nu spejlet ca 5° omkring den akse som udgøres af indfaldsstrålen således at indfaldsstrålen rammer spejlets reflektor i samme punkt som før, men i en anden vinkel. Afmærk som før reflektoren og den tilbagekastede stråle M2 og R2.

Brug nu en vinkelmåler til at aflæse spejlets rotationsvinkel d.v.s. vinklen mellem linierne M1 og M2. Mål også lysstrålens rotationsvinkel d.v.s. vinklen mellem linierne R1 og R2. Sammenlign de 2 vinkler og brug denne observation til at forudsige hvad der vil ske hvis spejlet drejes med yderligere 10° . Udfør forsøget og se om din forudsigelse var korrekt.

Denne metode hvorved små forandringer eller udsving forstærkes eller forstørres op er almindelig brugt af videnskabsmænd - Det er langt nemmere og billigere at eksperimentere med en skalamodel fremfor den færdige konstruktion.

Anbring nu spejlet således at den reflekterede lysstråle falder på en væg eller et stykke karton ca 1.5m fra spejlet. Drej spejlet 0.5° ad gangen.

1. Hvad sker der med den tilbagekastede lysstråle på væggen ?

Her kan man eventuelt forklare eller demonstrere hvordan man i et spejlgalanometer bruger et spejl og en lysstråle som instrumentets viser.

7. Forsøg: Billeder i et planspejl.

Anbring en nipsenål el. lign. lodret i et stykke papir (pas på underlaget) og placer planspejlet ca. 4 cm bag nålen. Prøv at lægge mærke til det billede af nålen du ser i spejlet. Spejlbilledet befinder sig tilsyneladende bagved spejlet.

For nærmere at bestemme spejlbilledets placering kan du sigte med en enkelt lysstråle sådan at lysstrålen rammer planspejlet og spejles tilbage på nipsenålen.

1. Hvordan ser lysstrålen ud når man ser henover nålen ind i spejlet ?

2. Er strålen lige eller afbøjet ? Afmærk kun spejlets og indfaldsstrålens position.

Flyt derefter lysboksen til en anden position, men sådan at du sigter på nålens spejlbillede som før og afmærk indfaldsstrålen. Gentag forsøget nogle gange hvor du flytter lysboksen til flere forskellige positioner på begge sider af nålen og afmærk kun indfaldsstrålerne.

3. Flyt nu spejlet og tegn indfaldsstrålerne op idet du forlænger dem indtil de mødes. Mødes de alle i 1 punkt ? Hvor mødes de ?

4. Sæt spejlet på plads igen. Hvordan passer de indtegnede stråler foran og bagved spejlet sammen med det synsindtryk man har af nålens spejlbillede som tilsyneladende befandt sig bagved spejlet ?

Hvis du er i tvivl om svaret på dette spørgsmål kan du prøve at anbringe en lang nipsenål el. lign. lodret i det punkt hvor lysstrålerne mødes bag spejlet, sådan at du kan se toppen af nålen og spejlbilledet samtidigt.

5. Ser de ud til at være på linie ?

6. Prøv derefter at bevæge hovedet fra side til side mens du betragter nålen bagved spejlet og spejlbilledet på samme tid. Bliver nålens hovede og spejlbilledet ved med at være på linie ?

Dette fænomen kaldes også PARALLAKSE. Parallaxe er den tilsyneladende sidelæns bevægelse af et fjernt objekt i forhold til et objekt nær ved, sidelæns i samme retning som iagttagersens bevægelse.

Astronomer bruger parallaxe til at bestemme hvilke stjerner der er langt væk fra jorden og hvilke der er tættere på. Når jorden bevæger sig rundt i sin bane (omkring solen) ser det ud som om de fjerne stjerner bevæger sig i samme retning set i forhold til de relativt nærmere stjerner.

7. Forbind det punkt hvori nålen sad med spejlbilledets position. Vil denne linie skære spejllinien i en ret eller en stump vinkel ?

8. Hvor langt bag spejllinien er spejlbilledet i forhold til det spejlede ?

9. Flyt nålen til en anden position og prøv at forudsige hvor spejlbilledet vil være at finde.

Gentag den første del af dette forsøg for at undersøge om din forudsigelse holder stik.

8. Forsøg: Spejling i et cirkulær konkavspejl. (hulspejl)

Find det cirkelbue-formede spejl frem, og send et bundt parallelle stråler midt ind i det sådan at strålerne er parallelle med spejlets symmetriakse.

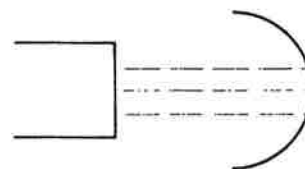


Fig. 10.

Mærk indfaldsstrålerne og de tilbagekastede strålers bane op. Læg mærke til hvor de tilbagekastede stråler mødes, dette punkt kaldes spejlets FOKUS eller BRÆNDPUNKT. Hvor langt er fokus fra spejlet ?

Denne afstand kaldes spejlets BRÆNDVIDDE. Hvis brændpunktet virker uldent og uskarpt fordi alt for mange lysstråler overlapper hinanden, kan man tildække nogle af spalteåbningerne og nøjes med et par af de midterste.

9. Forsøg: Bestemmelse af radius, centrum og brændvidde for et cirkulært spejl.

Brug samme opstilling som i forsøg nr. 8, og afmærk den indvendige side af det cirkulære konkavspejl. Drej spejlet rundt til du har tegnet en cirkel.

1. Udregn diameteren af denne cirkel idet du måler diameteren på flere forskellige leder og beregner et gennemsnit. Hvad er radius for denne cirkel ?

2. Afmærk spejlet eller cirkelens centrum. Hvilken sammenhæng er der mellem radius og den brændvidde du fandt i sidste forsøg ?

En anden metode til at bestemme et cirkulært spejls centrum er:

Med en enkelt lysstråle at sigte ind i spejlets krumning således at strålen kastes tilbage hvor den kom ind. For at gøre dette skal strålen ramme spejlets "normalakse", eller ramme vinkelret ind på spejlets overflade og blive kastet tilbage ad denne radius gennem spejlets centrum. Tegn denne stråle op og flyt lysboksen til en anden position - spejlet flyttes ikke - hvor strålen kastes tilbage hvor den kom ind. Gør dette 3 gange ialt.

Det punkt hvor strålerne mødes er spejlets centrum og afstanden fra dette punkt til spejlet er spejlets radius.

10. Forsøg: Cirkulær afvigelse eller aberration.

Hvad sker der når parallelle lysstråler rettes mod et cirkulært spejl parallelt med symmetriaksen men forskudt til højre eller venstre i forhold til denne ? Brug hertil lysboksens 2 midterste lysstråler - de andre 2 tildækkes.

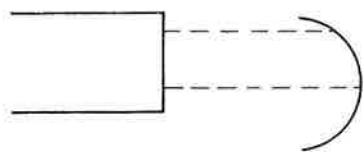


Fig.11.

Optegn fokus 6 gange idet du bevæger lysboksen fra position til position, men stadigvæk holder strålerne parallelt med symmetriaksen.

1. Vil disse brændpunkter eller fokus ligge på en ret eller på en krum linie ?

2. Når der bruges 4 lysstråler parallelt med symmetriaksen vil de da alle have samme brændpunkt ? Tildæk de 2 midterste stråler og optegn de 2 yderste

strålers brændpunkt, afmærk også spejlets position. Gentag det samme med de 2 yderste stråler tildækket.

3. Hvilke strålers brændpunkt er tættest på spejlet, de yderste eller de midterste ?

Tag et nyt stykke papir og gentag den foregående afmærkning af yderste og midterste stråler, men gør det nu med alle 4 stråler parallelt med symmetriaksen men forskudt til siderne.

4. Er den CIRKULÆRE ABERRATION el. FØRYKNING - d.v.s. at strålerne ikke længere har fælles brændpunkt - stigende eller faldende når strålerne forskydes sidelæns i forhold til symmetriaksen ?

Fjern nu blænden fra lysboksen og juster samlelinsen således at den udsender en divergerende lysstråle. Hold nu lysboksen op over bordet i en afstand af ca. 1 m til spejlet, sigt derefter med strålen i en svagt nedadfallende vinkel og læg mærke til det klart oplyste område. Afmærk omridset af dette område.

Dette klart oplyste område kaldes en kaustisk kurve - kaustisk betyder brændende. Du kender sikkert udtrykket fra "Kaustisk Soda".

5. Hvorfor kaldes et forstørrelsesglas også et brændglas ?

6. Prøv med en samlelinse samt blænde m. bred spalte.

7. Hvad er årsagen til denne kaustiske kurve ? Forklar det nærmere.

Bevæg blænden med 1 spalteåbning langsomt sidelæns hen foran lysstrålen således at den gradvis tildækkes. Prøv nu at bestemme hvor hver del af strålen spejles.

En figur som den kaustiske kurve - den ligner lidt en "tuborg" ({}) - kaldes sommetider også en "konvolut". Du vil støde på flere sådanne "konvolut"-figurer indenfor den højere matematik både som formler eller ligninger.

Prøv på et af de ark hvor du har markeret spejlingspunkterne at trække linier fra cirkelbuens centrum til spejlingspunkterne. Hver af disse er en radius og er derfor også spejlbuens "normal" eller vinkelrette.

Marker indfaldsvinklen for hver spejling - vinklen mellem den vinkelrette og lysstrålen. Marker ligeledes udfaldsvinklen - vinklen mellem den vinkelrette og den tilbagekastede stråle. Svarer hver indfaldsvinkel til den tilsvarende udfaldsvinkel ?

11. Forsøg: Spejling med konveks spejl. (Kuglespejl)

Lad et bundt parallelle stråler ramme det cirkulære spejl på den flade vi i forsøg 10 kunne kalde bagsiden. De skal stadigvæk være parallelle med symmetriaksen. Afmærk spejlets position og lysstrålernes bane, deres retning markeres med pile.

1. Hvor ser de divergerende stråler ud til at komme fra ?
2. Find nu dette punkt ved at forlænge strålernes bane baglæns gennem spejlet.

Dette punkt kaldes det VIRTUELLE eller MULIGE FOKUS, og afstanden fra spejlet til dette punkt kaldes den VIRTUELLE eller MULIGE BRÆNDVIDDE.

3. Hvor stor er denne brændvidde i forhold til det konkave spejls brændvidde ?
4. Hvordan forholder denne brændvidde sig til krumningens radius som vi fandt i forsøg 9 ?
5. Hvor stor er forskellen mellem disse brændvidder og radier ? Og hvordan vil du forklare denne forskel ?
6. Hvilken slags spejl ville du foretrække som bakspejl i en bil, konkav eller konveks ?

Hvis man trækker en linie fra buens centrum gennem det punkt hvor lysstrålen rammer spejlet vil denne linie være strålens normal eller vinkelrette. Mål indfalds- og udfaldsvinkel for spejlingen af hver enkelt stråle. Svarer indfaldsvinkel stadig til udfaldsvinkel ?

12. Forsøg: Spejling med et parabolspejl.

Et parabol eller en parabel er en kurve af en usædvanlig form, som fremkommer ved en af følgende 4 metoder:

- A. Indsæt forskellige værdier for x i følgende ligning $y = x^2$ og indtegn det ind i et koordinatsystem.
- B. Tegn et projektils bane.

C. Bevæg et punkt P sådan at det altid er i en forholdsvis eller relativ afstand til et fast punkt F og en ret linie AB . Placeringen af linien AB afgør hvad vej parablens åbning vender.

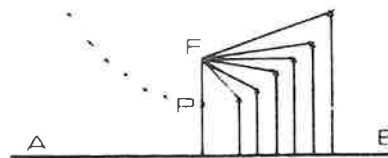


Fig. 12.

D. Ved at lave et keglesnit som danner en krum linie hvor alle punkter har samme afstand fra et givet punkt og fra en given ret linie.

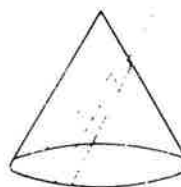


Fig. 13.

Ret et bundt parallelle stråler ind mod et parabolspejl parallelt med spejlets symmetriakse.

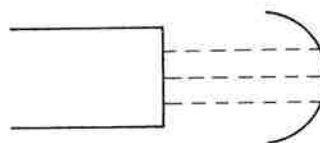


Fig. 14.

Marker strålernes bane, spejlets position og brændvidden. Bevæg lysboksen sidelæns men sådan at strålerne stadig er parallelle med symmetriaksen, ternet eller millimeterpapir er velegnet til dette brug.

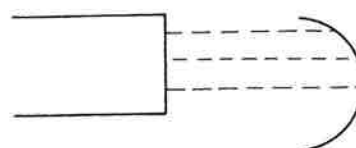


Fig. 15.

1. Hvad sker der nu med brændpunktet når lysboksen flyttes fra side til side ?
2. Fjern blænden og lad en bred parallel lysstråle falde ind i spejlet. Hvilken form for spejl - konkav, konveks eller parabol - ville du bruge hvis du skulle frembringe

skarpe billeder af stjerner spredt ud over synsfeltet i alle retninger ?

3. Hvad ville der ske hvis et punktformigt lys blev anbragt i parabolspejlets brændpunkt ? Prøv selv.

4. Hvorfor foretrækkes parabolformen frem for cirkelformen i en lang række tilfælde ? F.eks. Radar-antennener, billygter, højfjeldssole etc. find selv flere eksempler.

KAP II.

Lysets Brydning.

13. Forsøg: Halvcirkulær linse.

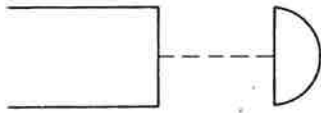


Fig. 16.

Send en lysstråle vinkelret midt ind i den halvcirkulære linses plane flade. Marker lysstrålebane og linsens position.

1. Sker der nogen afbøjning af lysstrålen ? Hvis der gør er vinklen ikke 90° .

Flyt nu lysboksen så lysstrålen stadig rammer linsens midtpunkt, men i en vinkel som afviger 10° fra den vinkelrette (80° el. 100°).

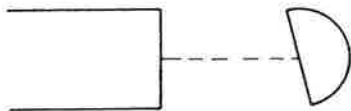


Fig. 17.

Afmærk strålens bane ind og ud gennem linsen sådan at strålens bane gennem linsen kan tegnes op. Bliv ved med at flytte lysboksen således at lysstrålen stadigvæk rammer linsens midtpunkt men i varierende vinkler, og tegn strålebanerne op f.eks. med forskellige farver eller nummerer dem. Hvad sker der når en lysstråle:

1. Passerer fra luften gennem et andet materiale (acryl) i en vinkel af 90° ?

2. Passerer igennem som før men i en vinkel forskellig fra 90° - d.v.s. indfaldsvinklen er ikke længere 0° ?

3. Går gennem acryllinsen og ud i luften igen ?

4. Hvorfor sker der ingen brydning når lyset går ud gennem den halvcirkulære flade, når der sker en brydning gennem den plane flade ?

Fjern linsen når du f.eks. har afmærket 6 lysbaner - gerne på begge sider af den vinkelrette. Tegn derefter omhyggeligt lysbanerne op og tegn en cirkel med en diameter på 10 cm. hvis centrum er indfaldspunktet.

Forlæng omhyggeligt lysbanerne således at de skærer cirklen. Indtegn normalen N til linsen gennem indfaldspunktet. Forbind normalen og lysbanens skæringspunkt med cirklen med en vinkelret linie. Nu skulle din tegning gerne se ud som tegningen nedenfor.

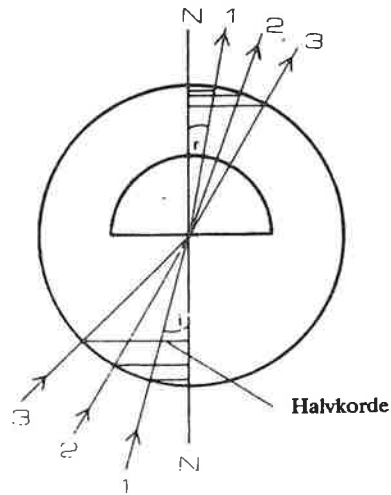


Fig. 18.

De sidst tegnede vinkelrette linier kaldes "halvkorder". Indsæt derefter dine målinger i følgende skema.

Stråle	Indfaldsvinkel Vinkel i	Udfaldsvinkel r	Forskel mellem Vinkler $i - r$	Forhold mellem Vinkler i/r	Længde halvkorde i	Længde halvkorde r
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

Stråle	$\frac{\text{Halvkorde } i}{\text{Halvkorde } r}$	$\sin i$	$\sin r$	Forholdet mellem	$\frac{\sin i}{\sin r}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Hvis du ønsker at finde brydningsindekset for andre stoffer kan du enten bruge en glaslinse eller en hul halvcirkulær beholder (kuvette). Du kan f.eks. fylde vand, petroleum eller andre klare væsker i den.

Lad være med at tage hensyn til hvad der sker med strålerne til slut, men læg nøje mærke til hvad der sker ved den første skille- eller grænseflade.

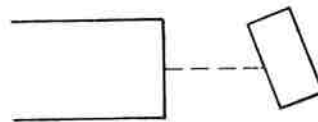


Fig. 20.

14. Forsøg: den rektangulære linse.

Anbring den rektangulære linse med den længste side vinkelret på lysstrålens bane.

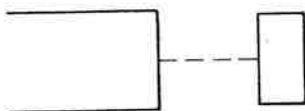


Fig. 19.

1. Sker der nogen brydning ved lysets indgangs- eller udgangsflade? Hvis ikke hvorfor?

Lysstrålen passerer fra et materiale - luft - gennem et andet materiale - acryl - ved den første skilleflade og omvendt ved den anden.

2. Hvilken anden betingelse skal da være opfyldt for at en brydning kan finde sted?

Flyt lysboksen indtil lysstrålen rammer midten af linsens langside i en indfaldsvinkel på 10° d.v.s. 80° i forhold til overfladen.

Afmærk lysstrålens forløb og tegn lysets bane gennem linsen og den bane lyset ville have fulgt hvis der ikke var sket nogen brydning.

3. Er udgangsstrålen parallel med indfaldsstrålen og dens forlængelse?

Indtegn normalen eller den vinkelrette til linsen hvor lyset går ind og ud af linsen. Mål indfaldsvinklen og brydningsvinklen for luft-acryl og acryl-luft. Afmærk strålen med pile hvis du kommer i tvivl om hvad der er indfaldsstrålen ved den anden skilleflade.

4. Hvad er sammenhængen mellem de 2 brydningsvinkler?

Tegn cirkler om hvert brydningspunkt som i forsøg 13 og tegn og mål halvkorderne som før. Indsæt dine resultater i formlerne:

$$\frac{\sin i}{\sin r} \quad \text{eller} \quad \frac{\text{Halvkorde } i}{\text{Halvkorde } r}$$

5. Hvad er brydningsindekset luft-acryl og acryl-luft?

6. Hvilket er større end 1 og hvilket er mindre end 1?

7. Vil den ene være den andens omvendte ?

8. Hvis brydningsindekset luft-glas er 1,5 d.v.s. 3 : 2 hvad er da brydningsindekset for glas-luft ?

9. Hvis brydningsindekset luft-vand er 1,33 d.v.s. 4 : 3 hvad er da brydningsindekset for vand-luft ?

10. Brydningsindekset er i dette forsøg fundet kun med 1 indfaldsvinkel (ca.10°). Tror du det er nødvendigt med flere ? Begrund dit svar.

15. Forsøg: Total eller absolut indvendig spejling.

Anbring den halvcirkulære linse sådan, at en enkelt lysstråle rammer den buede flade i normalens midtpunkt og passerer ud gennem midten af den plane flade.

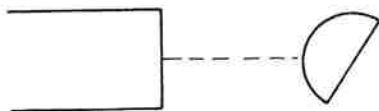


Fig. 21.

1. Sker der en brydning ? Hvis ikke forklar hvorfor ?

Afmærk midten af linsens plane flade og drej linsen ganske let omkring dette punkt indtil strålen rammer den plane side i en vinkel forskellig fra 90°.

2. Vil lysstrålen mod den plane flade blive brudt henimod eller bort fra den vinkelrette i udfaldspunktet ?

Drej igen linsen omkring det samme punkt og iagttag og noter udgangsstrålen i de nye positioner. Fortsæt med denne drejning indtil der ikke længere passerer en lysstråle ud gennem den plane flade.

3. Ved hvilken indfaldsvinkel sker dette ?

4. Drej linsen lidt længere. Hvad sker der med strålen som tidligere blev brudt ?

Drej tilbage indtil strålen ikke spejles inde i linsen og brydes påny. Find igen ved hvilken indfaldsvinkel brydning ophører og den indvendige spejling begynder. Mål denne vinkel, som kaldes dette materiales KRITISKE VINKEL.

Definitionen af den kritiske vinkel er :

Den kritiske vinkel for et materiale er den indfaldsvinkel udover hvilken en lysstråle som passerer fra et kompakt materiale - acryl - til et lettere materiale ikke længere brydes eller afbøjes, men udsættes for en total indvendig spejling.

Tegn en cirkel med en diameter på 10 cm. omkring indfaldspunktet og opmål den kritiske vinkels halvkorde (benævnt I_c). Beregn forholdet mellem halvkorde I_c / radius eller slå sinus I_c op i en tabel. Brug dine forsøgsobservationer til at udregne:

1

Brydningsindekset acryl - luft

5. Hvad er forholdet mellem følgende 3 størrelser:

$$\frac{\text{halvkorde } I_c}{\text{radius}} : \sin I_c : \frac{1}{\text{brydningsindeks acryl-luft}}$$

6. Hvis luft-glas brydningsindeks er 1,5 eller 3 : 2 . Hvad er da den inverse værdi ?

7. Hvad bliver $\sin I_c$ for glas-luft ?

8. Hvad er den kritiske vinkel for glas-luft ?

9. Hvis luft-vands brydningsindeks er 1,33 eller 4 : 3 , hvad er da den inverse værdi ?

10. Hvad bliver sinus I_c for luft-vand ?

11. Hvad er den kritiske vinkel for luft vand ?

Prøv om du kan få fat på en glaslinse og en fladbundet vandbeholder (krystallisationsskål el.lign.). Send en enkelt lysstråle gennem dem. Find de kritiske vinkler for vand-glas eller glas-vand og sammenlign med resultaterne ovenfor.

Prøv at anbringe en glaslinse i vand og læg nøje mærke til glas-vand skillefladen når du sender lysstrålen igennem .

12. Hvor finder du den kritiske vinkel ? Når strålen passerer fra vand til glas eller omvendt ? Efterprøv dine svar eksperimentelt.

13. Hvordan kan en acryllinses kritiske vinkel bruges til at finde brydningsindekset ?

16. Forsøg: Trekantet prisme.

Ret en lysstråle mod den korteste side af en 30, 60, 90° acryllinse således at den afbøjede stråle inde i prismet rammer hypotenusen.

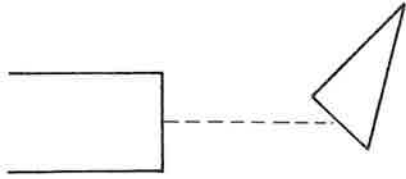


Fig. 22.

Flyt lysboksen eller prismet indtil der finder en total spejling sted, og lyset passerer ud gennem den tredje side. Afmærk det første sted hvor dette sker og mål indfaldsvinklen fra hypotenusens vinkelrette.

1. Er den kritiske vinkel den samme som i forsøg 15 ?
2. Ret en lysstråle vinkelret ind mod en af det ligebenede prismes korte sider sådan at strålen rammer hypotenusen. Bliver den spejlet ?

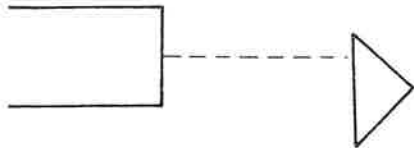


Fig. 23.

Afmærk indgangsstrålen, udgangsstrålen og prismets placering. Ret nu en stråle vinkelret ind på samme prismes hypotenuse ca. 1/4 af afstanden fra den ene ende.

Denne gang sker der en totalspejling af lysstrålen 2 gange, og lysstrålen kommer ud af prismet i en bane parallel med indgangsbanen men i modsat retning. Ret derefter 4 parallelle stråler mod prismens hypotenuse tæt ved den ene ende og opmærk hver enkelt stråles bane med forskellige farver. Det gøres lettest ved at indsætte et farvefilter over strålerne og følge hver enkelt stråles bane i forskellige farver.

3. Bliver strålerne sendt tilbage ved den dobbelte totalspejling ?

Send 2 parallelle stråler ind i 2 ligebenede prismer som vist på tegningen fig. 24.

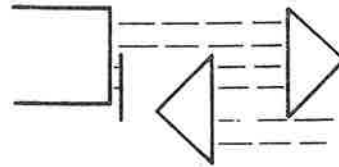


Fig. 24.

4. Farvelæg hver enkelt stråle og kortlæg deres bane. Vil den 4-dobbelte totalspejling betyde at strålerne forlader prismerne på samme måde som som de blev sendt ind i dem, eller har de byttet plads ?

Sådanne prismeplaceringer bruges i håndkikkerter for at gøre dem kortere og mere handy. En almindelig kikkert ville ellers blive 1/2 meter lang.

17. Forsøg: Dobbelt brydning - Vinkel med mindste afvigelse.

Ret en enkelt lysstråle mod en af den ligesidede prismes sider således at lysstrålen er parallel eller næsten parallel med en af de modstående sider.

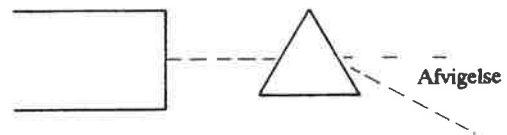


Fig. 25.

Lysstrålen vil nu passere ud gennem den tredje side efter at være udsat for 2 brydninger. Afmærk lysets bane og prismens placering. Ret nu lysstrålen mod det samme sted men i en anden indfaldsvinkel. Afmærk den ændring der sker.

Prøv nu at finde den prismeplacering som giver den mindste afvigelse fra den oprindelige retning.

Gentag det forrige forsøg idet du bruger 3 forskellige prismer hvis topvinkel (A) er 30, 45 og 90°. Find den placering der giver den mindste afvigelse og indfør dine resultater i følgende skema:

Stråle	Indfaldsvinkel	Refleksionsvinkel
A		
B		
C		

1. Hvilken indflydelse har prismets vinkel på den vinkel der giver den mindste afvigelse ?
2. Hvad sker der når topvinkel A er 90° ?

18. Forsøg: Dobbelt brydning - m. parallelle stråler.

Ret, som i det foregående forsøg, en enkelt lysstråle ind gennem et trekantet prisme, idet du kalder prismets topvinkel A og den modstående side a - d.v.s. prismets grundflade.

1. Vil den dobbelt afbøjede stråle bøje henimod eller bort fra a ?
2. Gentag dette forsøg idet du efter tur bruger hver enkelt af prismets vinkler som vinkel A. Vil afbøjningen altid have retning mod a uanset vinklen ?
3. Ret 2 parallelle stråler gennem hvert af de trekantede prizmer. Vil de parallelle stråler forblive parallelle ved prismetopvinkler på 30° , 45° og 60° ?

19. Forsøg: Dobbelt brydning.

Ret en bred lysstråle - uden brug af blænder - mod det ligesidede prisme og anbring det sådan at den størst mulige afbøjning af lyset opnåes. Brug et hvidt underlag.

1. Hvilken farve har lysstrålen fra begyndelsen ?
2. Er der i udgangsstrålen nogen spor af farvning af lyset ?
3. Hvilken side af lysstrålen er rød og hvilken del er blå? Noter farve og rækkefølge hvis der er andre farver end de 2 nævnte.

En sådan vifte af farver opnået ved lysets spredning kaldes et SPEKTRUM.

20. Forsøg: Farve absorption eller opsugning.

Forsøgsopstillingen fra forsøg 19 bevares, men nu skydes der et rødt filter ned i den brede slids foran blændeslidsen.

1. Hvordan påvirker dette det spektrum du ser ?
2. Fjern nu farvefiltret og anbring det det sådan at lysstrålen der passerer ud af prismet går igennem filtret. Hvad sker der med de farver som ikke er røde ?
3. Gentag dette med de andre filtre fra kassen. Først enkeltvis derefter parvis i forskellige kombinationer. Udfyld det følgende skema ved at skrive ja, nej eller + - i de forskellige rubrikker.

		Rød						Violet
Rødfilter	Transmission*							
	Absorption**							
Blåfilter	Transmission							
	Absorption							
Gulfilter	Transmission							
	Absorption							
.....filter	Transmission							
	Absorption							

*) går igennem **) opsuges

21. Forsøg: Newton's Forsøg.

Frembring et tydeligt spektrum idet du benytter dig af den farvespredning som fremkommer ved en dobbelt brydning gennem et ligesidet prisme, placeret sådan at

den mindste afbøjning opnåes. Brug en blænde med bred spalte.

Gentag Newtons forsøg ved at anbringe et andet ligesidet prisme i den farveafbøjede stråles bane.

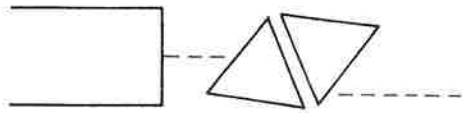


Fig. 26.

Dette får lyset til påny at brydes, således at spektrets farver samles igen og resultatet atter bliver et hvidt lys.

Hvis man sætter en skive, på hvilken man har malet spektrets farver, i hurtig rotation, vil det menneskelige øje kun kunne opfatte en sammenblanding af farverne. Hjulet vil blive opfattet som værende hvidt.

For yderligere demonstration af dette fænomen, kan Newtons farvetallerken eventuelt inddrages. Kat. nr. 3200.00.

22. Forsøg: Dobbelt brydning m. en dobbelt konveks linse.

Forsøg nr. 18 viste at det ikke kunne lade sig gøre at få 2 parallelle stråler til at skære hinanden v.h.j.a. et enkelt prisme. Lysstrålerne forblev parallelle efter brydningen dog med en lille farvespredning. Kombinationer af prizmer kan dog bruges til at bringe 2 parallelle stråler til at skære hinanden i et punkt.

Frembring med lysboksen 2 parallelle stråler så langt som muligt fra hinanden - de 2 midterste spalteåbninger kan tildækkes. Anbring to prizmer som vist på tegningen - topvinkler 60° og 30° - og følg lysets bane gennem de 2 prizmer.

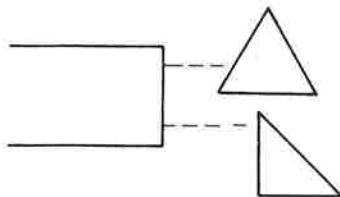


Fig. 27.

Anbring derefter 2 ligesidede prizmer (lån evt. en fra et andet sæt) som vist på tegningen. Denne placering vil bringe de 2 lysstråler til at skære hinanden.

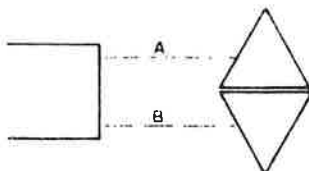


Fig. 28.

1. Hvad sker der hvis du tilføjer 2 stråler til - parallelle med henholdsvis A og B. Vil de også skære hinanden i det samme punkt? Prøv selv at udføre forsøget.

For at få alle strålerne til at skære hinanden i et punkt er det nødvendigt med et prisme med en anden topvinkel til stråle C, og endnu et prisme med en anden topvinkel til stråle D. D.v.s. vi har brug for et prisme hvis topvinkel kontinuerligt skifter fra lille til stor vinkel. Et sådant prisme kaldes en linse.

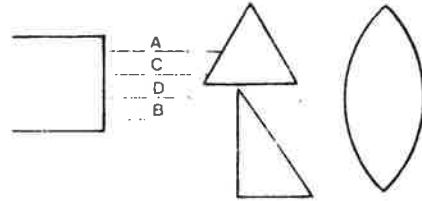


Fig. 29.

Send 4 parallelle stråler ind i en af fladerne af den tyndeste af de 2 linser i kassen.

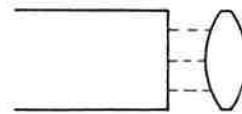


Fig. 30.

Afmærk lysbanerne og lensens position så du er i stand til at bestemme lensens brændpunkt.

2. Når en linses brændvidde er afstanden fra brændpunktet til lensens akse, hvad er da denne linses brændvidde?

3. Tag et nyt stykke papir og bestem brændvidden for den anden linse af lignende facon.

23. Forsøg: Bestemmelse af en krumnings radius.

Tag den tynde dobbeltkonvekse linse og aftegn med en blyant den ene sides krumning, bliv ved med at forskyde linsen langs denne linie indtil du har tegnet en cirkel. Mål nu cirkelns diameter og bestem radius. Gentag det samme med den anden dobbeltkonvekse linse, og bestem dens radius.

Hver eneste af cirkelns radier kaldes KRUMNINGENS RADIUS for den linse hvormed den pågældende cirkel er tegnet.

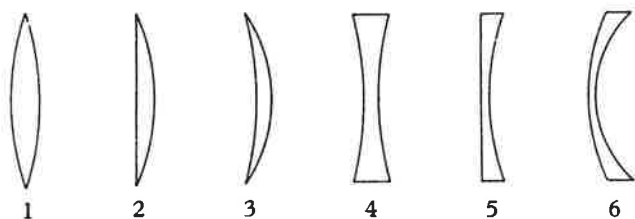
pågældende cirkel er tegnet.

Inddrag dine resultater fra forsøg 22 og sammenhold krumningens radius med den tilsvarende brændvidde.

1. Hvilken sammenhæng er der mellem disse 2 størrelser ?

2. Hvis du bruger en linse med en brændvidde på 20 mm hvad er da krumningens radius ?

En linses krumning behøver ikke nødvendigvis at



være den samme på begge sider, se nedenfor.

Tegningen viser de forskellige linsetyper. Samlelinser: 1, dobbeltkonveks, 2 plankonveks, 3 konkavkonveks. Spredelinser: 4 dobbeltkonkav, 5 plankonkav, 6 konvekskonkav.

Den følgende formel viser sammenhængen mellem brydningsindeks, brændvidde og krumningens radius for en cirkel :

$$\frac{1}{f} = \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right] \left[n - 1 \right]$$

Hvor f er linsens brændvidde, n er brydningsindekset for linsens materiale, R_1 er radius til den ene sides krumning og R_2 for den anden side.

Beregn værdierne af R_1 og R_2 for de 2 dobbeltkonvekse linser i sættet. Indsæt et sæt af disse værdier i formelen og beregn værdien af n for linsernes plasticmateriale.

Brug det andet sæt af værdier til at kontrollere den beregnede værdi af n - begge linser er lavet af samme materiale. Sammenlign den beregnede værdi af n med resultaterne i forsøg 13.

24. Forsøg: En dobbeltkonveks linses fokal plan.

Placer en af de dobbeltkonvekse linser på et stykke papir og tegn dens omrids af, men lad være med at flytte linsen. Frembring med lysboksen 2 parallelle lysstråler og bevæg den sådan at der sendes lysstråler:

A: Parallelt med linsens symmetriakse.

B: Skærende symmetriaksen i en lille vinkel, men rettet mod linsens centrum - d.v.s. skærende aksens fra både højre og venstre side.

Fortsæt med at rette lysstrålerne mod linsens centrum i stadig større vinkler fra symmetriaksens højre og venstre side.

1. Afmærk lysstrålernes skæringspunkt for hver af lysboksens positioner og træk en linie gennem disse punkter. Vil det være en ret eller en krum linie ?

2. Hvis vi antager, at de parallelle lysstråler kommer fra stjerner langt ude i rummet, hvor ville du da placere en fotografisk film sådan at alle stjernebillederne kommer i fokus ?

Den position i hvilken parallelle stråler uanset vinkel kommer i fokus kaldes linsens FOKAL PLAN.

Nogle kameraer har en blænde der åbner og lukker tæt ved linsen, andre med udskiftelige linser har en blænde, som mest minder om et rullegardin, der dækker filmen bortset fra det korte øjeblik filmen belyses. Sådanne blænder kaldes fokalplans blænder.

25. Forsøg: Kromatisk Aberration.

Send nogle lysstråler gennem en dobbelt konveks linse i dens yderkant. Læg mærke til at lysstrålerne har farvede kanter efter brydningen.

1. Hvilken kant er rød og hvilken er blå ?

Send 2 parallelle stråler gennem linsens yderkant sådan at de skærer hinanden. Anbring et hvidt stykke karton lodret tæt ved skæringspunktet og bevæg det til og fra linsen.

2. I hvilken position - set i forhold til linsen - vil der på kartonet være et rødt centrum med blå kanter ? Prøv at forklare hvorfor.

Billige legetøjskikkerter synes at indramme billedet med en farvet ring. Producenter af kamera- og kikkert-linser gør meget ud af at bruge kombinationer af linser med forskellige krumninger og forskellige brydningsindekser, for derved at sikre at alle farver rammer fokus

i det samme punkt. En sådan linsekombination kaldes **AKROMATISK**.

26. Forsøg: Den dobbelt konkave linse.

Find den linse hvor 2 af fladerne buer indad på en sådan måde at den bliver tyndest midtpå - den dobbelt konkave linse. Send 4 parallelle lysstråler ind i den parallelt med symmetriaksen. Afmærk lysbanerne og linsens position, fjern linsen og forlæng udgangsstrålernes bane hen mod lysboksen.

1. Udgår lysstrålerne fra samme punkt, eller har de forskellige udgangspunkter ?

En dobbelt konkav linse kaldes også en **DIVERGERENDE LINSE**. Linsens brændvidde kaldes **NEGATIV** idet det punkt hvorfra strålerne synes at komme ligger mellem linsen og lyskilden. Bestem din linses brændvidde.

Dobbelt konkave linser bruges bl.a. til at korrigere for nærsynethed. Nærsynethed opstår når det billede øjets linse danner ikke falder tilstrækkelig langt inde i det lysfølsomme område - retina.

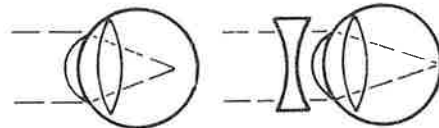


Fig. 31.

Sådanne linser kan også bruges til at forøge en konvergerende linses brændvidde, se f.eks. fig 1 og 2.

KAP. III.

Farve Observationer.

27. Forsøg: Bestemmelse af objekters farve.

I Kap. II's forsøg 20 blev hvidt lys afbøjet eller opløst til et regnbuefarvet spektrum ved at passere gennem et prisme. Forskellige linser blev sat ind foran lysstrålen for at se hvilke af spektrets farver der passerer igennem filtret, og hvilke der blev opslugt.

Frembring nu v.h.j.a. lysboksens modsatte ende en bred hvid lysstråle - der bruges ingen blænder - send lysstrålen mod et af de farvede kort, og iagttag hvad der sker når kortet v.h.j.a. farvefiltrene belyses med forskellige farver. Gør dette med alle 6 kort og indfør dine resultater i nedenstående skema.

Farve på objektet i Hvidt lys	Farve på objektet når det indfaldende lys på objektet er:					
	Rødt	Orange	Gult	Grønt	Blåt	Violet
Rød						
Orange						
Gul						
Grøn						
Blå						
Violet						

Det synsindtryk - med hensyn til farve - vi får ved at betragte en ting, kan bedst forklares på følgende måde:

Hvidt lys er sammensat af flere farver, et hvidt objekt reflekterer alle disse farver hvorfor vi ser det som hvidt. Et rødt objekt absorberer alle farver undtagen rød der reflekteres hvorfor vi oplever genstanden som rød.. Hvis man da fjerner det røde lys v.h.j.a. det blå og det grønne filter, eller det der kaldes "cyan", vil den røde genstand absorbere den gule farve og intet reflektere.

Prøv at sammenholde dine observationer fra skemaet med denne teori eller forklaring. Sæt dig godt ind i hvordan filtrene og farvekortene virker. Prøv nu at forudsige resultatet af følgende forsøg:

1. En blå genstand belyst med rødt.
2. En rød genstand belyst med orange, set gennem et gult filter.
3. En blå genstand belyst med rødt, set gennem et gult filter.
4. En rød genstand belyst med orange.
5. En rød genstand belyst med orange, set gennem et blå filter o.s.v.

Belys de 6 forskellige kort med hvidt lys og betragt dem gennem filtrene. Indfør dine resultater i dette skema:

Farve på objektet i Hvidt lys	Farve på objektet når det ses gennem filter med farve:					
	Rødt	Orange	Gult	Grønt	Blåt	Violet
Rød						
Orange						
Gul						
Grøn						
Blå						
Violet						

28. Forsøg: Farveaddition - Farveblanding.

I dette forsøg skal du også bruge sidespejlene. Send 3 farvede lysstråler hen mod et hvidt kartonstykke el. lign. Det første farvesæt kan f.eks. være rød, blå og gul.

N.B. Anbring den "svageste" farve i lysboksens forreste slids. På den måde kan du kompensere for det tab i intensitet, der finder sted ved refleksion fra de 2 sidespejle.

Bevæg nu spejlene så farverne overlapper, og indfør dine resultater i et skema f.eks. på denne måde:

Rødt og blå giver

Rødt og gult giver

Gul og blå giver

Rød, blå og gult giver o.s.v.

Brug de andre filtre fra sættet, og arbejd dig igennem

alle kombinationerne.

Find en kombination der giver hvidt, eller tilnærmelsesvis hvidt, lys når farverne blandes. Farvekombinationer der giver hvidt lys kaldes **KOMPLEMENTÆR FARVER**.

Komplementær farver er altså farver der adderet eller blandet giver hvidt lys.

Bland nu 3 farver så lyset bliver hvidt, fjern derefter en af dem ved at dreje et af spejlene. Den farve der nu er tilbage på din skærm er komplementær til den fjernede farve. Registrer de 3 farver:

De anvendte farver var 1 2 3

1's komplementær farve er:

2's komplementær farve er:

3's komplementær farve er:

N.B. Husk at fjerne farvefiltrene fra lysboksen efter endt brug, da varmen fra lyskilden ellers kan ødelægge dem.

29. Forsøg: - Farvede Skygger.

Bland 3 farver så du får hvidt lys. Anbring en blyant eller lignende foran skærmen i en afstand af 8-10 cm. sådan at den rammes af alle 3 lysstråler. Observer og noter skyggerne og deres baggrunds farve.

Prøv at forklare dette fænomen. Til hjælp ved forklaringen kan du tegne et rids af forsøgsopstillingen, hvor de 3 lysstrålers retning og farve er angivet.

30. Forsøg: Skygger.

Fjern farvefiltrene og luk sidespejlene i. Ret lyset fra den bageste slids mod en hvid skærm 30-45 cm. fra lysboksen. Hold en blyant op foran skærmen i en afstand af ca. 5 cm. og læg mærke til den skarpe skygge. Denne skarpe skygge kaldes UMBRA.

Gentag eksperimentet idet du svækker lysets intensitet ved at anbringe et stykke kalkerpapir foran lyskilden. Læg mærke til forskellen i skyggerne. Den diffuse skygge kaldes PENUMBRA eller halvskyggen, og umbraen fra før kan ses inde i den.

KAP IV.

Den Optiske Bænk.

Lysboksen kan bruges som lyskilde i en lang række forsøg med linser og spejle. Til dette brug tildækkes den bageste spalteslids med kalkerpapir fastgjort med tape el. lign. Tegn med en tusch et gitter eller krydsmønster på kalkerpapiret. Du kan også klippe et sådant mønster ud af sort papir og lime det på kalkerpapiret. Dit mønster kan f.eks. se sådan ud:



Fig. 32.

Det er bedst hvis mønstret IKKE er symmetrisk, det vil gøre det lettere at se om der sker en lodret eller vandret spejling.

Monter en dobbeltkonveks glaslinse på en papplade eller lignende. Du kan montere linsen v.h.j.a. modellervoks eller kit, men sørg for at den er helt lodret og at dens centrum har samme afstand til underlaget som midten af lysboksens skærm.

Din skærm kan du lave ved at fastgøre et stykke hvidt karton til en træklods så den står helt lodret. Eller bedre endnu lav en ramme på 10x10 cm. af hvidt karton - kantbredde ca. 1 cm. - og klæb et stykke kalkerpapir på rammen. Rammen fastgøres til en træklods med søm eller tegnestifter så den er 100 % lodret. Brug evt. kartonskærm nr. 3040.30 med holder 3050.00.

31. Forsøg: Dobbelt konveks linse.

Mærk pappladens midterlinie op med en tusch, tape el. lign. Brug sollyset eller et andet fjernt lys som lyskilde, fokuser skarpt på skærmen v.h.j.a. linsen og mål omhyggeligt afstanden fra linse til skærm. Denne afstand kaldes linsens brændvidde.

En linses brændvidde er den afstand til linsen i hvilken parallelle stråler fokuseres - solens stråler regnes for parallelle.

Anbring linsen lodret midt på din midterlinie og afmærk brændvidden på begge sider af linien. Begge disse punkter kaldes F. Fordobl afstanden F på begge sider af linsen og kald de 2 punkter 2F.

Anbring nu lysboksen på midterlinien et vilkårligt sted efter 2F og anbring din skærm på den anden side af linsen.

efter 2F og anbring din skærm på den anden side af linsen. Flyt skærmen frem og tilbage indtil du får et skarpt billede af lyskilden. Afmærk lyskilden og "skærbilledets" positioner på midterlinien.

1. Hvis lyskilden er længere borte end 2F på den ene side af linsen, hvor i forhold til 2F på den anden side vil "skærbilledet" da være at finde ?

Flyt lyskilden henimod linsen skridt for skridt idet du hele tiden afmærker lyskilden og skærbilledets positioner med sammenhørende symboler f.eks. AA, BB o.s.v.

2. Hvad sker der med billedet på skærmen efterhånden som lyskilden rykker nærmere og nærmere hen til 2F ?

N.B. Det kan være nødvendigt at justere linsen lodret eller vandret for at bringe lyskilden, linsen og skærmen på linie.

3. Hvad er størrelsesforholdet mellem billedet fra lyskilden og "skærbilledet" når lyskilden er længere fra linsen end 2F ? Større eller mindre ?

4. Flyt lyskilden ind i en position mellem 2F og F. Hvad sker der nu med skærbilledets position ?

Afmærk flere af disse positioner mellem 2F og F, idet du markerer dem med parvis sammenhørende symboler som før.

5. Hvad sker der med skærbilledet når lyskilden er ved F ?

6. Hvor var sol-kilden da dets skærbillede var ved F ?

Når forskere observerer denne slags sammenhænge prøver de at udtrykke dem matematisk. Si er skærbilledet i forhold til F, og So er kilden i forhold til F. Indfør nu dine observationer som vist nedenfor. Prøv nu at kvadrere brændvidden F, og sammenlign

Position	Afstand So lyskilde til F	Afstand Si spejlbillede til F	Produkt So X Si
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			
H			

F med produktet af Si x So. Hvis du har været nøjagtig med dine opmålinger og brændvidden er korrekt, skulle du nå frem til:

$$F = Si \times So.$$

Hvis du istedet for at måle afstanden i forhold til brændvidden, vil måle lyskilden og skærbilledets afstande i forhold til linsen (u og v) kan en anden formel tages i brug:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

Hvor f er brændvidden.

Flyt kilden til en position mellem F og linsen. Billedet fokuseres nu ikke mere på skærmen, men ved at flytte kilden en lille smule til den ene side og sætte ansigtet tæt hen ved linsen på den anden side, skulle du nu være i stand til at se et OPRET FORSTØRRET BILLEDE. Er de billeder du ser når kilden er udenfor eller længere væk end F:

7. Oprette ? 8. Omvendte ?

9. Mindre ?, eller. 10. Større ?

32. Forsøg: Kortlægning af lysbaner.

Kortlægning af lysbanerne er en metode til at lokalisere billedets position. Til at gøre dette anvendes 3 "hoved" - stråler:

- A. Strålen fra lyskilden parallelt med symmetriaksen.
- B. Strålen fra lyskilden gennem fokus, og.
- C. Strålen fra lyskilden gennem linsens centrum.

Sæt en blænde med 3 spalteåbninger i lysboksen og anbring den dobbelt konvekse linse på et stykke papir hvor linsens symmetriakse er afmærket. Marker brændpunktet F som før og ligeledes 2F på begge sider af linsen. Tegn en linie vinkelret på symmetriaksen - ca. 3 cm. lang - og marker den med en pil jvf. fig 33.

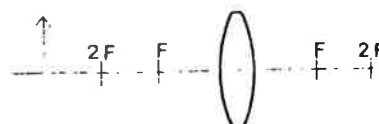


Fig.33.

Skift til en blænde med 1 spalte. Sigt med strålen gennem pilens spids parallelt med symmetriaksen og afmærk dens bane efter afbøjningen - den skulle gerne gå gennem F.

Send stråle nr. 2 fra pilen gennem F - hvis strålen ikke rammer linsen er pilen for lang - og afmærk dens bane. Den skal efter afbøjningen være parallel med symmetriaksen.

Send den 3'die stråle fra pilen gennem linsens midtpunkt. Denne stråle skal ramme det punkt hvor de 2 andre stråler skæres. Dette er billedpositionen af et objekt anbragt på pilens spids.

Prøv at sende flere stråler fra pilens spids ind gennem linsen og sørg for at de rammer linsen.

Position	Afstand S_o fra lyskilde til F	Afstand S_i fra skærbillede til F	Billeddannelse		Produkt $S_o \times S_i$
			retvendt spejlvendt	forstørret formindsket	
A					
B					
C					
D					

Prøv at sammenholde det med formelen $S_i \times S_o = F^2$, hvor S_o er den oprindelige pils afstand fra F på den ene side af linsen, S_i er billedets afstand fra F på den anden side af linsen og F er brændvidden.

3. Hvad sker der hvis pilen anbringes i F, eller mellem F og linsen ?

33. Forsøg: Kortlægning af lysbaner fra et parabolspejl.

Brug parabolspejlet og en enkelt lysstråle til at finde det punkt hvor de 3 "hoved"-stråler konvergerer fra spidsen af en pil vinkelret på symmetriaksen. Gentag nu forsøg 32 trin for trin og besvar følgende spørgsmål:

1. Den første stråle parallelt med parabolspejlets symmetriakse reflekteres tilbage gennem ?

2. Den anden stråle til parabolspejlet gennem brændpunktet F reflekteres tilbage fra spejlet til aksén, hvor ?

3. Den 3'die stråle til spejlets centrum reflekteres tilbage sådan at indfaldsvinklen er lig ?

1. Vil de allesammen gå gennem det samme punkt som strålerne 1-3 ?

2. Træk en linie fra dette punkt vinkelret ind på symmetriaksen og marker punktet med en pil. Hvis den nye pil er det projicerede billede af den oprindelige pil, er den da større eller mindre, opret eller omvendt ?

Gentag dette flere gange med pilen i forskellige positioner udenfor 2F, i 2F og mellem 2F og F og indfør dine resultater i følgende skema:

34. Forsøg: Forstørrelse.

En linses forstørrelsessevne defineres som talstørrelsen udtrykt ved:

Billedets højde

objektets højde

Denne størrelse kan være mindre, større eller lig 1.

1. For hvilken position af pilen - d.v.s. udenfor 2F, i 2F og mellem 2F og F - er denne størrelse mindre, større eller lig 1 ?

To andre talstørrelser kan bruges til at udtrykke noget om forstørrelsessevnen. Prøv med nogle af dine observationer at undersøge om:

$$\text{Forstørrelsessevnen} = \frac{\text{billedets højde}}{\text{genstandens højde}} = \frac{F}{S_o} = \frac{S_i}{F}$$

35. Forsøg: Forstørrelse - sfærisk parabolspejl.

Brug lysboksen som lyskilde med et asymmetrisk mønster - jvf. indledningen til kap 4. Anbring et parabolspejl for enden af pappladens midterlinie, der fungerer som symmetriaksen. Afmærk spejlets position og dets brændpunkt.

Hvis du er i tvivl om brændpunktet kan du sende 4 parallelle lysstråler ind i spejlet parallelt med symmetriaksen og afmærke hvor de skærer hinanden. Kald punktet F og afmærk 2F.

Anbring nu lyskilden længere væk end 2F lidt forskudt i forhold til midterlinien og i NØJAGTIGT samme højde fra underlaget som spejlets midte.

Brug din skærm til at lokalisere et skarp reflekteret billede et vilkårligt sted mellem F og 2F på den

modsatte side af centerlinien. Marker lyskildens position på pappladens midterlinie og ligeledes spejlbilledets position - brug som før parvis sammenhørende symboler AA etc.

Flyt lyskilden til forskellige positioner udenfor 2F, i 2F og mellem 2F og F. Marker de sammenhørende positioner som før, og indfør dine observationer i en tabel mægt til den du brugte i forsøg 32.

36. Forsøg: Forstørrelsesfaktoren for et parabolspejl.

Det matematiske udtryk for forstørrelsessevnen, brugt om en konveks linse i forsøg 34, kan også anvendes om et parabolspejl. Brug dine resultater fra forsøg 35 til at undersøge følgende:

$$\text{Forstørrelsessevnen} = \frac{\text{Billedets højde}}{\text{objektets højde}} = \frac{F}{S_o} = \frac{S_i}{F}$$

Stemmer det ?

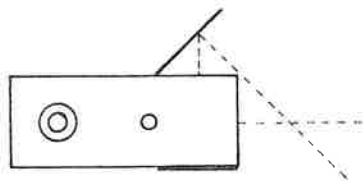
Apendix til "OPTISKE EKSPERIMENTER".

Optiksettet med lysbox kan også bruges til påvisning af lysets bølgeegenskaber:

- a) Lys kan gå gennem lys.
- b) Lys kan bøje om hjørner.
- c) Lys kan interferere.

- a) FORSØG: Lys kan gå gennem lys.

Anbring 2 blændere m. 1 spalte i den ende af lysboxen med de justerbare spejle, idet det ene spejl lukkes. Det hængslede spejl justeres, strålegangen iagttages.



- b) FORSØG: Lys kan bøje om hjørner.

Blænden med 1 smal spalte anbringes i blændeslidsen. Samlelinsen justeres, så der fremkommer en enkelt lysstråle.

Iagttag lysstrålen. Kanten af lysstrålen ser "ulden" ud,

den er rødlig. Det skyldes, at lysstrålen er blevet brudt ligesom i forsøg 19.

- c) FORSØG: Lys kan interferere.

Blænden med 1 smal spalte anbringes i den inderste blændeslids, i den yderste blændeslids anbringes et optisk gitter. Opfang billedet på en skærm ca. 20 cm fra optikboxen. Tegn billedet.

I midten af billedet ses en hvid stribe, på begge sider heraf ses lysets spektrum. Afstanden mellem de to spektre skyldes interferens.

Bemærk, at afstanden mellem de røde og violette striber er forskellige, de to farver har ikke samme bølglængde. Bølglængden bestemmer afstanden mellem interferensstriberne.

FORSØG: Bølgelængden af farvet lys.

Blænde med 1 smal spalte anbringes i den inderste slidse, i den yderste anbringes farvefilter eller farvedias fra optiksættet. Et optisk gitter anbringes foran farvefilteret. Skærmen anbringes ca. 20 cm væk, se fig. 34.

$$\text{Bølgelængden} = \frac{\frac{x}{2} \cdot \frac{1}{300}}{y} \text{ mm}$$

hvor x er afstanden mellem midten af lysstriberne, y er afstanden mellem det optiske gitter og skærmen og

$$\frac{1}{300}$$

er bredden mellem linierne i det optiske gitter. Alle målinger i mm. Omsætning til mikrometer ved at multiplicere med 1000, til nanometer ved at multiplicere med 1.000.000.

Forsøget kan udføres med alle de til rådighed værende farvefiltre.

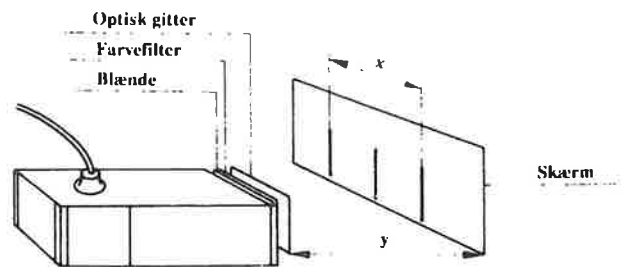


Fig 34.

FORSØG: Påvisning af ultraviolet stråling.

Samme opstilling som til forsøg 21. I stedet for skærm bruges en zinksulfidbelagt skærm. Denne vil fosforescere, hvis den bliver "belyst" med ultraviolet stråling.

Ekstra udstyr til måling af bølgelængden af farvet lys:

3245.00 Optisk gitter 300 l/mm.

3040.30 Kartonplade til skærm.

3085.00 Farvefilter rød acryl.

3050.00 Kartonpladeholder.

3085.10 Farvefilter gul acryl.

Ekstra udstyr til påvisning af ultraviolet stråling:

3085.20 Farvefilter grøn acryl.

3075.10 Zinksulfidskærm.

3085.30 Farvefilter blå acryl.

Disse farvefiltre er mere robuste end optiksættets.