

LYSLÆRE

AF

JULIUS PETERSEN

OVERLÆRER, HERLUFSHOLM

MED 89 OPGAVER



KJØBENHAVN

LEHMANN & STAGES FORLAG

TRIERS BOGTRYKKERI (H. J. SCHOU)

1894

Lysets retlinede Gang.

1. Naar et Legeme faar en meget høj Varmegrad, udsender det Lys; Solens og Fiksstjernernes Temperatur overgaar utvivlsomt alt, hvad vi kende her paa Jorden. Lyset udbreder sig fra et selvlysende Legeme med meget stor Hastighed i alle Retninger. De Legemer, som træffes af Lyset, blive derved synlige for vore Øjne, idet de selv komme til at udsende Lys og altsaa i denne Henseende forholde sig som de selvlysende. Genstandene omkring os se vi ikke blot, naar de beskinnes direkte af Solen, men ogsaa naar de belyses af Legemer, der selv laane deres Lys fra Solen; Skyerne og Luftdelene sende os saaledes spredt Dagslys. Maanens og Planeternes Lys er ogsaa oprindelig kommen fra Solen.

Den Vej, ad hvilken Lyset i et bestemt Medium naar fra et Punkt til et andet, er en ret Linie, som kaldes en Lysstraale; denne kan ikke ses, men naar de smaa Støvdele i Luften træffes af en Solstraale, blive de belyste og vise Lysets retlinede Gang.

De følgende Paragraffer ville yderligere vise, hvorledes Erfaringen stemmer med, at Lyset forplanter sig i rette Linier.

2. **Skygger.** Naar Lyset træffer et uigennemsigtigt Legeme, opstaar der en Skygge bag ved dette. Udgaar Lyset fra et Punkt, vil Skyggen under Forudsætning af Lysets retlinede Gang strække sig fra Legemet ud i en Kegle, som bliver bredere og bredere. Men er Lysgiveren større end Skyggegiveren, vil Helskyggen, det vil sige det Rum, hvori intet

Lys trænger ind, blive Spidsen af en Kegel, saaledes som Fig. 1 viser. Uden om Helskyggen vil der af de indvendige

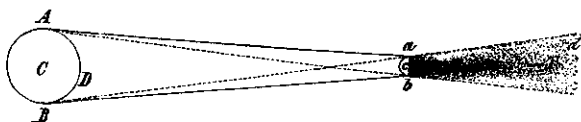


Fig. 1.

Fællestangenter begrænses en Halvskygge, hvor der frembringes Lys af en Del af Lysgiveren; til Punktet d kan saaledes den øverste Del af Lysgiveren sende Lys.

Helskyggens Længde beregnes af Legemernes Størrelse og Afstand. Ere begge Legemer Kugler med Radier R og r og Afstanden a , finder man let af et Par ligedannede Trekanten, at Skyggens Længde er $l = \frac{ar}{R \cdot r}$. Er Lysgiveren meget langt borte, regner man bedre med den Synsvinkel v , hvorunder den ses fra Keglens Toppunkt. Af Trekant acT faas nemlig $l = \frac{r}{\sin \frac{1}{2}v}$, eller naar Vinkel v er lille, $l = \frac{2r}{v}$, idet v udtrykkes i Buemaal. Solens Vinkeldiameter er lidt over $\frac{1}{2}^\circ$, og da denne Vinkel i Buemaal er cr. $\frac{1}{114}$, kan man omtrentlig sætte $v = \frac{1}{110}$. En Kugle med Diameter d vil altsaa i Solskin kaste en Kærneskygge af Længde $l = 100 d$.

3. Billeddannelse. Hvis man lader et Stearinlys skinne ind igennem et lille Hul i en Kasse, som for øvrigt er helt lukket, og hvis Bagside dannes af mat Glas eller gennemskinnende Papir, saa kan man paa dette se et omvendt Billede af Lyset. Dette frem-

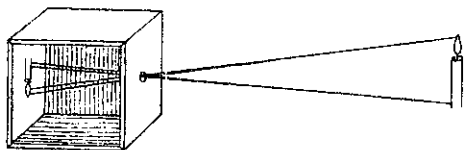


Fig. 2.

kommer ved, at hvert Punkt af Lyset gennem Hullet sender en smal Lyskegle, som paa Bagsiden af Kassen aftegner en lille lysende Plet af Form som Hullet. Men de Pletter, som alle Punkter af Lyset tegne, ville tilsammen faa en Omkreds som Lyset selv, dog i omvendt Stilling. Billedet er ikke

skarpt, thi de enkelte Lyspletter gribe til Dels ind i hinanden, og Genstanden kan ej heller afbildes nøjagtigt, naar et Punkt gengives ved en lille Flade; derimod er Hullets Form ligegyldig.

Paa samme Maade vil Solen, naar den skinner gennem et lille Hul, f. Eks. et Nøglehul, ind i Stuen eller gennem en Sprække i et Tag, afbilde sig som en rund Plet paa Gulvet eller Væggen, uden Hensyn til hvad Form Hullet har, naar det blot ikke er alt for stort.

4. Lysstyrke og Belysning. Lysgiverne have forskellig Lysstyrke; to Stearinlys lyse f. Eks. dobbelt saa stærkt som eet. Man siger ogsaa, at de to Lys udsende en dobbelt saa stor Lysmængde som det ene. Vil man regne med Lysstyrke og Lysmængde, maa man først have en Enhed for dem. Man bruger hertil enten Voks- eller Stearinlys af bestemt Tykkelse eller en Lampe med bestemt Olieforbrug; har man et saadant Enhedslys eller Normallys, maa man sige, at det har Lysstyrken 1 og i et Sekund udsender Lysmængden 1. En anden Lysgiver har Styrken L eller udsender Lysmængden L hvert Sekund, dersom den frembringer samme Virkning som L Normallys.

En Lysgiver vil i Reglen udstraale Lys af samme Styrke i alle Retninger. Iagttages Lysvirkningen i en Afstand r , som er stor i Forhold til Lysgiverens egen Udstrækning, saa vil hele Virkningen i det Øjeblik være naaet ud til Overfladen af en Kugle med Radius r . Da denne har Arealet $4\pi r^2$, vil en Fladeenhed i et Sekund modtage Lysmængden $\frac{L}{4\pi r^2}$, ifald der intet Lys er gaaet tabt paa Vejen. Den nævnte Størrelse kaldes Fladeenhedens Belysning. Vi se herved, at en Flade, som er stillet vinkelret mod Lysstraaler, som udgaa fra en konstant Lysgiver, faar en Belysning, som er omvendt proportional med Kvadratet paa Lysgiverens Afstand. Hvis Fladen er stillet skraat mod Lysstraalerne, vil den træffes af et smallere Lysbunt, saaledes som Fig. 3 viser, og derfor ogsaa modtage en mindre Belysning.



Fig. 3.

Vi se tillige af det ovennævnte Udtryk, at to forskellige

Lysgivere L og L_1 frembringe samme Belysninger paa to Flader i Afstandene r og r_1 , dersom vi have $\frac{L}{r^2} = \frac{L_1}{r_1^2}$; dette udtrykkes med Ord saaledes, at to Lysgiveres Styrker forholde sig ligefrem som Kvadratet paa de Afstande, hvori de frembringe samme Belysning. Dette er imidlertid ikke det samme, som at de belyste Flader se ens ud for vore Øjne. Hvor meget Lys en belyst Flade nemlig atter udsender, er et ganske andet Spørgsmaal, som beror paa flere Omstændigheder, f. Eks. Fladens Beskaffenhed og Farve; en fuldstændig sort Flade vil saaledes intet Lys sende til vort Øje, selv om den belyses meget stærkt. Men ere de to Flader ganske ens, og belyses de normalt af Lysgivere, som selv have samme Farve, saa ville de se ens ud ved samme Belysning.

Man kan ved følgende lille Apparat prøve Rigtigheden af den nu udviklede Lov for Belysningen. Man danner to



Fig. 4.

ens Plader af Paraffin, af Størrelse som et almindeligt Stykke Viskelæder, og lægger dem sammen men adskilte ved et Stykke Stanniol. Dette Legeme sættes paa Kant inde i en

lille Kasse med tre Huller, et lige foran hver Paraffinplade og et foran den lodrette Kant. Gennem de første kan Lyset udefra trænge ind, hvorved de to Paraffinplader blive mat skinnende; gennem det tredje Hul iagttages Pladernes Kanter, adskilte ved Stanniolet, men dersom Belysningen er ens stærk fra begge Sider, kan man saa godt som slet ikke se Adskillelsen mellem dem. Naar man nu vil gøre Forsøget, stiller man Apparatet op i et Værelse, fra hvilket alt uvedkommende Lys holdes borte, og anbringer en Lysgiver uden for A og et Stearinlys uden for B , idet man afpasser Afstandene saaledes, at Pladernes Kanter ses ens stærkt lysende. Hvis man paa højre Side anbringer 4 ens Lys i Stedet for det ene, vil man finde, at de maa stilles i den dobbelte Afstand for at frembringe samme Virkning som det ene før.

5. Lysmaaling. Styrken af forskellige Lysgivere kan bestemmes ved Apparatet fra forrige Paragraf. Gælder det

f. Eks. om at finde, hvor mange Gange et Gasblus er stærkere end et Stearinlys, saa gør man to Forsøg, idet man baade lader Stearinlyset B og Gasflammen holde Ligevægt mod samme Lysgiver A . Hvis Gasflammen da har været n Gange saa langt fra Paraffinprismet, som Stearinlyset var, da lyser den n^2 Gange saa stærkt.

Det er vanskeligt at sammenligne Styrken af Lysgivere, naar de ikke have samme Farve, men de fleste, der bruges i Praksis, ere temmelig ens i denne Henseende. En bestemt Lysstyrke angives, som det blev nævnt i forrige §, i Forhold til den vilkaarlig valgte Enhed, men det er ikke let at frembringe denne nøjagtigt.

Opgaver.

1. Naar Solen skinner gennem et lille Hul ind i et Værelse, og der dannes et Solbillede paa Væggen i Afstanden a fra Hullet, hvad er da Billedets Diameter?

$$\text{Res. } \frac{a}{100}.$$

2. Hvis Hullets Diameter er d , hvor mange Gange er da Lyset i Billedet svagere den direkte Sollys?

$$\text{Res. } \left(\frac{100d}{a}\right)^2.$$

3. Vis ved en Tegning, at Hullets Form ingen Indflydelse har paa Billedet, naar det dannes temlig langt borte, og Hullet er lille. Hvorledes gaar det, dersom Lyset opfanges i en Afstand, som er lille i Forhold til Hullets Størrelse (Solskin gennem et Vindue)?

4. Hvorledes forklares de elliptiske, lyse Pletter, som ses paa Jorden i en Skov, naar Solen skinner gennem Løvet?

5. Naar man i Solskin lader en 5 Øre kaste Skygge og opfanger denne paa en Skærm, hvorledes ser da Skyggen ud, hvis Skærmen holdes i forskellige Afstande?

6. Hvis man holder sit Øje i Skyggen paa forskellige Steder, hvorledes ser da Solen ud? Hvor skal Øjet holdes, for at Solen akkurat skal dækkes af 5 Øren?

7. Hvor lang er 5 Ørens Kærneskygge, naar Skillingens Diameter er a ?

Res. 100 a .

8. Holder man en tynd Strikkepind lodret paa et Bord i Solskin, kan Enden af Skyggen da blive skarpt begrænset?

9. Hvorfor ere Skygger i Solskin aldrig helt mørke?

Lysets Tilbagekastning.

6. Regelmæssig og spredt Tilbagekastning. Som det allerede er bemærket, er det tilbagekastede Lysstraaler, som ere Skyld i, at vi kunne se Genstandene omkring os; hvis der ingen Straaler falder paa dem, ere de fuldstændig mørke. Denne Tilbagekastning finder Sted i alle Retninger, men hvis Genstanden er meget glat, vil der dog i visse Retninger tilbagekastes særlig meget Lys. Vi se f. Eks., at naar Solstraalerne falde paa et Stykke Glas, ville de tilbagekastede Straaler tegne en lys Plet paa Væg eller Loft, og ved at dreje Glasstykket kunne vi flytte den lyse Plet. Denne Art af Tilbagekastning kaldes den regelmæssige eller spejlende; den bliver desto mere fremtrædende, jo glattere og bedre poleret Genstanden er, og naar vi holde Øjet i det regelmæssig tilbagekastede Lys, se vi egentlig ikke den spejlende Genstand selv, men derimod et Spejlbillede af det, som udsender Lyset. Vi skulle nu se, hvorledes det forholder sig med disse Billeder.

7. Plane Spejle. Vi tage et plant, godt poleret Legeme, f. Eks. et Stykke Glas og stille det lodret inden i en lille Kasse, som er aaben for oven og har en smal Aabning i Siden. Gennem denne lade vi et Stearinlys kaste et smalt Bundt af Lysstraaler. Dersom vi nu blæse lidt Tobaksrøg ned i Kassen, kunne vi se Straalernes Gang og iagttagelse da, hvorledes en Del gaar igennem

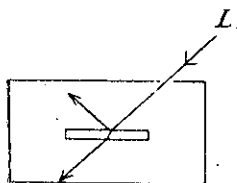


Fig. 5.

Glasset men en Del tilbagekastes, som det er vist paa Fig. 5. Det er bedst, dersom vi ved en Skærm holde alt fremmed Lys borte.

Ved at indrette Apparatet saaledes, at man kan maale baade den indfaldende og den tilbagekastede Straales Hældning mod Spejlet, finder man følgende Lov: Begge Straaler og Spejlets Normal ligge i samme Plan, og Straalerne danne samme Vinkler med Normalen. Heraf følger en simpel og meget hensigtsmæssig Konstruktion af den tilbagekastede Straale. Kommer der fra L en Lysstraale LP , saa afsætte vi det Punkt l , som er symmetrisk med L med Hensyn til Spejlet, og LPQ er da den tilbagekastede Straale.

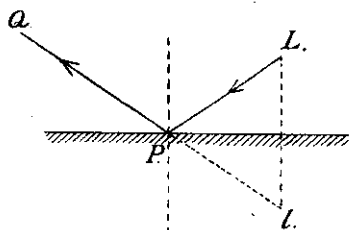


Fig. 6.

Hvis vi nu betragte en hel Straalekegle, som udgaar fra L , vil enhver enkelt Straale deri tilbagekastes i Retning fra l , og holde vi vort Øje, $\emptyset$, et Sted i det tilbagekastede Lys, vil dette gøre Indtryk paa os, som om det var kommen fra Punktet l , det vil sige, at vi se et Spejlbillede af Punktet L .

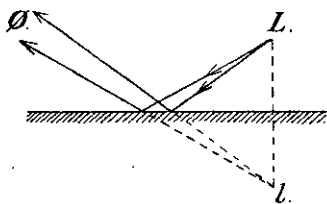


Fig. 7.

Paa samme Maade kan en større Genstand spejle sig, saaledes at vi agttage et symmetrisk Billede af den hele, dersom Spejlet blot er saa stort, at Linier fra det symmetriske Billede til vort Øje træffe Spejlfladen.

De Spejle, som til daglig Brug benyttes, ere planslebne og polerede Glas, som ere belagte med Amalgam (Kvægsølv og Tin) paa Bagsiden. Til Brug ved optiske Forsøg egne disse Spejle sig dog sjælden, thi de give flere Billeder, nemlig et fra Forsiden og et fra den belagte Bagside. Man ser meget let disse Billeder ved at lade en smal Ting spejle sig, ja endog ved et almindeligt Stykke ubelagt Glas ses de begge. Skal man have et Spejl, som kun giver eet Billede, kan man

bruge Metal eller belægge Glasset paa Forsiden med et Lag Sølv; eller man kan tage et Stykke Glas og gøre den ene Side ru og sværte den og saa benytte den polerede Side som Spejl.

8. Gentagne Spejlinger. Stille vi to Spejle parallelle med de spejlende Flader vendte mod hinanden, vil en Genstand L afbilde sig mange Gange ved gentagen Tilbagekastning af Lysstraalerne. Ved en enkelt Tilbagekastning i Spejlet A faas Billedet a , men dette kan selv spejle sig ved B i Punktet ab , og dette atter i det nye Punkt aba o. s. v. Paa lignende

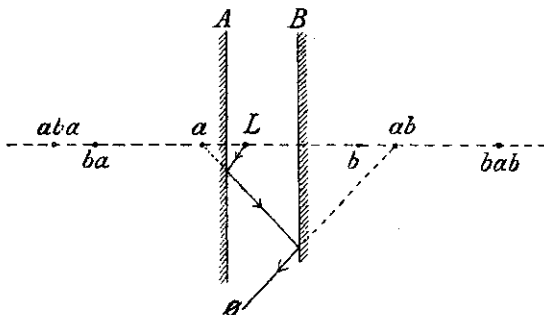


Fig. 8.

Maade faas Billedrækken b , ba , bab o. s. v. Holder man Øjet paa et bestemt Sted, kan man se de Billeder, hvis Forbindelseslinie med Øjet skærer Spejlfladen. Figuren viser saaledes Gangen af en Lysstraaale, som hører med til Billedet ab . Man begynder med at trække Linien $Øab$; fra det Sted, hvor denne skærer Spejlet B , trækkes en Linie til a , og fra dennes Skæring med A en ny Linie til L .

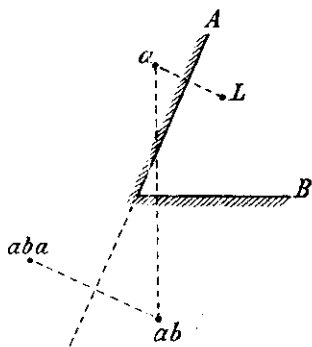


Fig. 9.

Danne Spejlene en Vinkel med hinanden, bliver Billedernes Antal begrænset. L danner først i A Billedet a , dette danner ab i Spejlet B , og ab paa ny Billedet aba i A , men da det sidst nævnte Billede nu er paa Bagsiden af B , kan yderligere Spejling ikke finde Sted.

Det ses, at alle Billederne paa Grund af den med Spejlene symmetriske Stilling maa ligge i samme Afstand fra Spejlens Skæringskant. Konstruktionen af Lysstraalernes Gang er den samme som ved de parallelle Spejle. Paa Billeddannelsen ved Vinkelspejle beror det bekendte Legetøj, Kalejdoskopet.

9. Sekstanten er et Redskab, som tjener til at maale Vinklen mellem Sigtelinierne til to fjerne Punkter. Den er dannet som et Cirkeludsnit og har en bevægelig Radius, som inde ved Centret bærer et lille Spejl, *B*, vinkelret paa Udsnittets Plan. Desuden findes der ved *C* et andet vinkelret

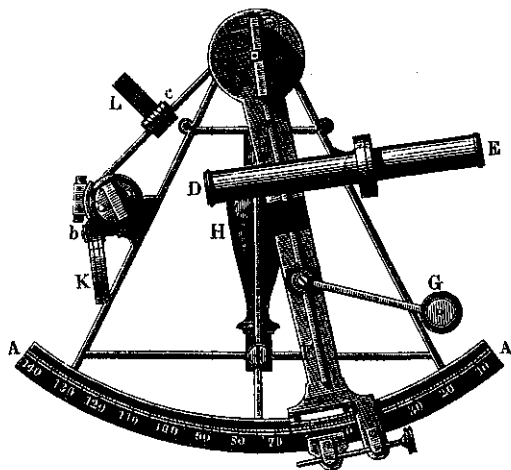


Fig. 10.

Spejl, som kun er belagt paa den halve Del, medens den anden Halvdel er gennemsigtig. *ED* er et Sigteapparat, enten et simpelt Rør eller en Kikkert. Herfra kan man gennem den ubelagte Del af Spejlet *C* betragte en Genstand *M* og ved at dreje paa den bevægelige Radius indrette det saaledes, at man i den belagte Del af Spejlet *C* faar den samme Genstand at se ved dobbelt Tilbagekastning mellem Spejlene, saaledes som det er vist i Fig. 11. De to Spejle ere da parallelle, og

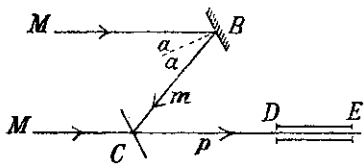


Fig. 11.

man aflæser, hvilken Delingsstreg paa Cirkelbuen den bevægelige Radius i dette Tilfælde peger paa; her skal nemlig Maalestokkens Nulpunkt være. Hvis vi nu dreje det bevægelige Spejl en Vinkel v (Fig. 12), saa ville vi stadig se Gen-

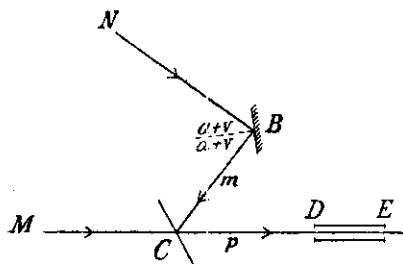


Fig. 12.

standen M gennem Spejlet C , men samtidig ved den dobbelte Tilbagekastning se en anden Genstand N , som til det bevægelige Spejl sender en Lyss traale der ligesom før tilbagekastes langs ad mp . Samtidig med Spejlet er dets Normal, den punkterede

Linie, drejet Vinklen v ; de to Vinkler, som før vare a , ere nu begge $a+v$, følgelig afviger Sigtelinien til N Vinklen $2v$ fra Linien til M .

Sekstantens Anvendelse er nu følgende. Man sigter direkte til den ene af de Genstande, hvis Vinkelafstand man vil maale, og drejer den bevægelige Radius med sit Spejl, indtil man samtidig ser den anden Genstand. Den søgte Vinkel er da det dobbelte af den, som aflæses paa Udsnittets Bue. For Nemheds Skyld er Buen delt i halve Grader, som benævnes hele; herved spares Multiplikationen med 2.

Sekstanten anvendes meget af Søfarende og andre Rejsende til at maale Højder eller Azimutforskelle. Den holdes i Haanden, i lodret eller vandret Stilling.

10. Heliostaten. Til de fleste Forsøg i Lyslæren maa man anvende Sollys, og det er oftest nødvendigt at lade dette trænge ind i en Stue, hvorfra alt andet Lys holdes borte. Man sætter derfor Skodder for Vinduerne og anbringer i Skodden et lille Hul, hvorigennem Solen kan skinne. De fleste Forsøg tage imidlertid saa lang Tid, at Solen kan naa at flytte sig tilstrækkeligt, til at Lyset i Stuen forandrer sin Retning meget kendeligt. For at afhjælpe denne Ulempe anbringer man uden for Skodden et Ur, hvori der er indsat et Hjul, som gaar en Gang rundt i et Døgn. Dette Hjuls Akse bærer et Spejl, der kan stilles i forskellig Hældning mod

Aksen, og hele Uret skal opstilles saaledes, at den nævnte Akse falder i Verdensaksen. For en passende Hældning af Spejlet kan nu Solens Straaler tilbagekastes op ad Verdensaksen, og dette vil vedblive, fordi baade Solen og Spejlet rotere med samme Hastighed, og Solens Deklination forandrer sig saa lidt i Dagens Løb. Det tilbagekastede Lys opfanges nu af et nyt Spejl, som kaster Lyset ind gennem Hullet i Skodden i den Retning, man ønsker.

II. Goniometret er et Redskab, som tjener til at maale Vinklen mellem to Flader paa et Legeme, f. Eks. en Krystal eller et Glasprisme. Prismet stilles midt i den inddelte Cirkel med Kanten vinkelret paa dens Plan. Røret *L* er i sin yderste Ende lukket ved en Plade, i hvilken der er udskaaen en smal Spalte, som ligeledes er vinkelret paa Cirkelfladen. I den anden Ende har Røret en Linse, som gør de Lysstråler, der

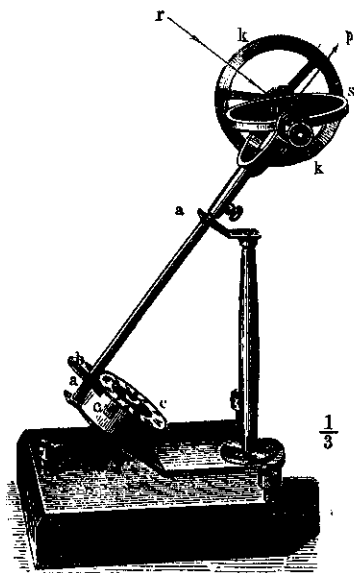


Fig. 13.

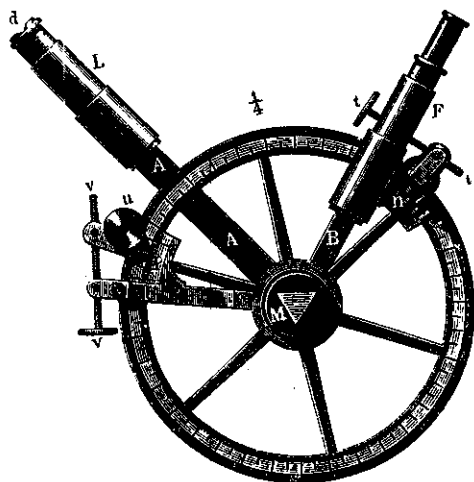


Fig. 14.

Side, maa Normalen ifølge ovenstaaende halvere Trekantens Vinkel, og Punktet C ligger imellem A_1 og B_1 . Vende derimod Linierne MA_1 og MB_1 hver sin Vej, halverer Normalen Nabovinklen og C ligger uden for A_1B_1 . Ved nu at anvende den bekendte Sætning fra Geometrien faa vi i alle Tilfælde

$$\frac{MA_1}{MB_1} = -\frac{CA_1}{CB_1}.$$

Her forholde de to sidste Linier sig altid som deres Projektioner paa Aksen, nemlig CA og CB , og de to første Linier kunne ifølge de Indskrænkninger, vi have gjort, om at Straalerne skulle træffe temmelig lige paa Spejlet, uden syn-derlig Fejl sættes lig med Linierne DA og DB . Vi faa der-ved Proportionen

$$\frac{DA}{DB} = -\frac{CA}{CB}$$

det vil sige, at Punkterne D , B , C og A ligge harmonisk.

En anden Straale fra A_1 kan træffe et andet Punkt af Spejlet, men da A , C og D ere faste Punkter, blive B og B_1 det ogsaa, det vil sige, at alle de Straaler, som udgaa fra et bestemt Punkt, efter Tilbagekastningen atter gaa igennem eet Punkt, som kaldes Billedet af det første. Straalerne fra A_1 danne saaledes en Kegel med Spejlet til Grundflade og til-bagekastes som en anden Kegel med Toppunkt i B_1 og fort-sættes ud over dette Punkt som en ny aaben Kegel (Fig. 16).

Det ses endvidere af Formlen, at et andet Straale-punkt A_2 , hvis Projektion paa Aksen ligeledes falder i A , maa have et Billedpunkt, der projiceres i B . Enhver Plan, som er perpendikulær

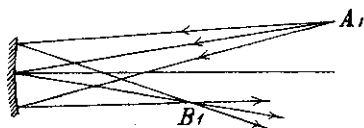


Fig. 16.

paa Aksen, har saaledes sin konjugerede Billedplan, og enhver Figur (eller Genstand) i den første Plan har sit tilsvarende Billede i den anden.

Dersom vi tage D til Begyndelsespunkt, have vi paa Grund af den harmoniske Beliggenhed

$$\frac{1}{DA} + \frac{1}{DB} = \frac{2}{DC}.$$

Men da det er bekvemmere at regne med simplere Betegnelser, ville vi i det følgende kalde Planernes Afstande fra Spejlet a og b og Radius $2p$, idet vi saa huske paa, at alle disse Linier regnes positive til den Side, hvor Spejlet har sin blanke Side, og negative, hvis de gaa modsat. Derved faa vi i alle Tilfælde Formlen

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{p},$$

hvor p kaldes Brændvidden.

Hvis vi have at gøre med et Hulspejl, der spejler paa den indvendige Side, saadan som det er tegnet paa Figuren, da er Radius og Brændvidden positive; ved et konvekst Spejl, der har sin blanke Side ud ad, bliver p og r negative.

13. Billeddannelse ved Hulspejle. Det vides fra Geometrien, at to Punkter A og B , som dele Linien DC harmo-

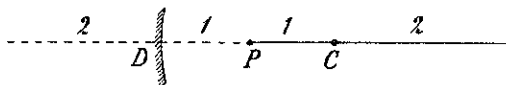


Fig. 17.

nisk, ligge nærmest ved samme Endepunkt af den. Hosstaaende Figur giver derfor en Oversigt over Punkternes og dermed ogsaa de to konjugerede Planers Belliggenhed. Idet P er Midtpunktet af Radius, det saakaldte Brændpunkt, ville altsaa de to konjugerede Punkter og Planer enten begge ligge paa den fuldt optrukne Linie eller begge paa den punkterede, det ene paa Stykke 1, det andet paa 2. De konjugerede Punkter falde sammen i Centrum C ; derfra bevæge de sig i modsat Retning, og naar det ene er naaet til Brændpunktet P , er det andet kommen uendelig langt bort. Ligeledes falde de sammen i D og rykke atter derfra, hver sin Vej, indtil det ene naar Brændpunktet, og det andet er uendelig langt borte til venstre. Det af Punkterne, som ligger paa det punkterede Stykke 2, har negativ Afstand fra Spejlet.

Hvis vi nu ville konstruere Billedet af en Genstand, vinkelret paa Aksen, f. Eks. Stokken AA_1 (Fig. 18), da trækkes først Linien A_1C , derefter Straalen A_1D , som tilbagekastes symmetrisk (gennem et Hjelpepunkt, symmetrisk med A_1); her-

stilles i Brændplanen ved P , er Billedet uendelig fjernt, og Straalerne fra et enkelt Punkt tilbagekastes parallelle med Linien fra Punktet gennem Centrum. Straaler fra Brændpunktet selv kastes tilbage parallelle med Spejlets Akse.

I det følgende ville vi som Regel betegne de virkelige Billeder ved store Bogstaver, de indbildte ved smaa.

14. Billedernes Form og Størrelse. Af Figureerne i forrige § ses det, at de virkelige Billeder altid ere omvendte, men de indbildte oprette. Genstand og Billedet ses under lige store Vinkler fra Centrum, og det samme er Tilfældet, naar de ses fra Spejlets Midtpunkt. Deres Udstrækninger vinkelret paa Aksen forholde sig derfor som Afstandene fra et af de nævnte Punkter. De indbildte Billeder ere altid forstørrede, da de ligge længere fra Centrum end Genstandene selv, hvorimod de virkelige Billeder ere forstørrede eller formindskede, eftersom de ligge uden for eller inden for Centrum.

I Henseende til Dimensionerne vinkelret paa Aksen ere Billederne ligedannede med Genstandene, men dette er ikke Tilfældet med Udstrækningen langs ad Aksen, hvad der allerede kan ses deraf, at Linien fra Centrum uendelig langt bort afbildes ved den halve Radius.

Dersom Genstanden er meget langt borte, falde Billederne af dens enkelte Punkter alle i Brændplanen. Solen afbildes f. Eks. som en Cirkel, og da Solen ses fra Centrum eller Spejlets Midtpunkt under Vinklen $\frac{1}{2}^\circ$, bliver Billedets Diameter omtrent $\frac{1}{100} p$.

15. Hulspejles Anvendelse. Man bruger store Hulspejle af Metal eller af Glas, som er belagt paa den forreste hule Side med Sølv til astronomiske Kikkerter. Der dannes et Billede af Solen eller Stjernerne i Brændplanen, og dette Billede betragtes gennem et Forstørrelsesglas (§ 43).

Hulspejle anvendes for at forøge en Lampes Lysevne i en bestemt Retning, idet man ved Spejlene kan drage Nytte af de Straaler, som ellers gaa bort i den modsatte Retning. Navnlig ved mindre Fyr bruges Spejlet saaledes, at Lampen stilles omtrent i Brændpunktet, hvorved de tilbagekastede Straaler omtrent holde sig parallelle og derfor kunne oplyse Egnen paa et langt Stykke uden at svækkes saa meget som

ellers. Skal Omegnen belyses helt rundt, bruges flere Spejle, hver med sin Lampe.

16. Spejle med større Gradeantal ville ikke tilbagekaste Straaler fra et bestemt Punkt gennem et enkelt Billedpunkt. Hele Billeddannelsen bliver derfor udvisket. Dog bliver Unøjagtigheden ikke stor, naar man betragter Billedet af en lille Genstand frit svævende i Luften, fordi det kun er en meget smal Lyskegle, som kan trænge ind gennem Øjets Pupil.

Medens parallelle Solstraaler fra et Hulspejl med lille Gradeantal tilbagekastes gennem Brændpunktet, vil dette ikke længere være Tilfældet, hvis Spejlet bliver større. Man kan let forstaa, hvorledes Forholdet da bliver, naar man tager en blank Ring og lægger den paa Bordet i Solskin; vi se da inden i Ringen de tilbagekastede Straaler danne en Brændlinie (Fig. 20).

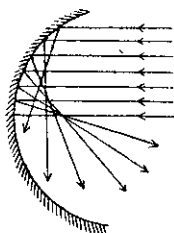


Fig. 20.

Til Brug i Kikkerter har man indrettet paraboliske Spejle; disse kunne nemlig være saa store, det skal være, Straaler parallelle med Aksen tilbagekastes alle gennem Brændpunktet.

17. Konvekse Spejle. Da disse have negativ Brændvidde, kunne vi skrive Formlen

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{p},$$

idet p da betegner den numeriske Værdi af Brændvidden. Vi se heraf, at b altid er negativ, naar vi have et Straalepunkt paa Spejlets positive Side, det vil sige, at de tilbagekastede Straaler divergere, som om de kom fra et Punkt bag ved Spejlet. Alle Billeder blive indbildte

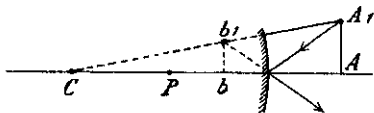


Fig. 21.

og opretstaaende og formindskede. Fig. 21 viser Konstruktionen af Billedet, som svarer til Genstanden AA_1 . Er $a = \infty$, bliver $b = -p$; Straaler parallelle med Aksen, tilbagekastes, som om de kom fra et indbildt Brændpunkt.

Disse Spejle have kun ringe Betydning,

Opgaver.

10. Find ved Konstruktion, hvor stor en Del af et plant Spejl der bruges til at danne et Billede af en Genstand. Hvor stort et Spejl behøves der, til at man kan se et helt Billede af sig selv?

11. Hvorledes finder man ved Konstruktion den Del af en stor Genstand, man kan se spejle sig i et lille Spejl?

12. Hvorfor bliver venstre og højre ombyttede, naar man spejler sig, men ikke de lodrette Retninger?

13. Naar en bestemt Lysstraale skal tilbagekastes i en given Retning, hvorledes skal da Spejlet stilles?

14. Hvilken Vinkel skal et Heliostatspejl danne med Verdensaksen, naar Solens Deklination er d ?

$$\text{Res. } 135^\circ - \frac{d}{2}.$$

15. Konstruer Gangen af en Lysstraale, som lider 3. Tilbagekastninger ved Vinkelspejle og træffer Øjet.

16. Dersom to Vinkelspejle danne en Vinkel, som er $\frac{1}{2n}$ af 360° , vil Genstanden og dens Spejlbilleder danne en regulær n -straale Figur. Bevis det. Hvornaar bliver Figuren en regulær $2nkant$?

17. Fra et Straalepunkt A_1 trækkes en Linie parallel med Hulspejlets Akse. Fra det Punkt, hvor Linien skærer

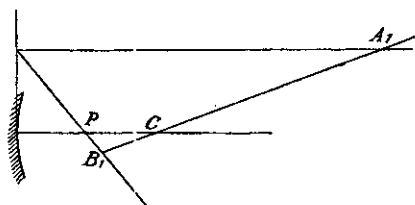


Fig. 22.

Planen, som tangerer Spejlet i Aksens Endepunkt, trækkes en anden Linie gennem Brændpunktet. Bevis, at denne gaar igennem A_1 's Billedpunkt B_1 . Kan benyttes til Konstruktion af Billedpunkter.

18. Hvad er Betydningen af et negativt a i Formlen $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{p}$? Konstruer Billedpunktet.

19. Konstruer Billedet af en Genstand uendelig langt borte og vis alle Straalernes Gang.

20. Konstruer Gangen af Lysstraaerne fra en Genstand i Brændplanen.

21. Vi betragte et frit svævende Billede af en Genstand. Konstruer Gangen af de Lysstraaer, som netop komme ind i Øjet.

22. En fjern Genstand spejler sig i et Hulspejl. Efter at Straalerne ere gaaede igennem Billedet, opfanges de af et nyt Hulspejl med Brændvidde p , hvis Afstand fra Billedet er mellem p og $2p$. Konstruer det nye Billede.

Lysets Brydning.

18. En Lysstraaale, som gaar fra et Stof til et andet, brydes ved Overgangen, det vil sige, den forandrer brat sin Retning lige i Grænsefladen. Vi se tydeligt alle de Forhold, som vedrøre Brydningen, ved følgende Apparat, som er afbildet i Fig. 23, set ovenfra. Vi danne et lille rektangulært Kar, K , hvis Sider ere af Glas, fylde Vand i det og stille det inde i en Kasse, der har en lille Spalte i en af Siderne. Gennem Spalten lade vi Sollys komme ind i Kassen. Naar vi saa ved en Skærm holde uvedkommende Lys borte og blæse lidt Tobaksrøg ned i Kassen, kunne vi tydeligt se Lysstraalernes Gang. Det er straks iøjnefaldende, at Straalerne inde i Vandet ligge nærmere ved Grænsefladens Normal, end de gøre i Luften. Men ved nærmere Betragtning viser det sig tillige, at Straalerne efter Gennemgangen gennem Vandet ved A aftegne en Lysplet, som er farvet ved Randene, nemlig rød ved den Side, som ligger nærmest ved de oprindelige Straalers Retning, blaa eller violet ved den anden Side. Disse Farver træde ikke tydeligt frem, naar Straalerne gaa for kort et Stykke Vej inde i Vandet, men man kan ændre Forsøget

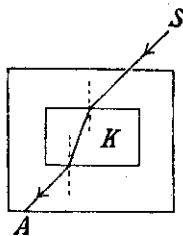


Fig. 23.

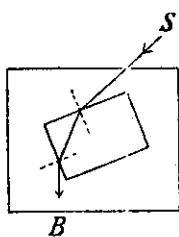


Fig. 24.

lidt, hvorved Farverne blive mere kendelige. Man stiller Apparatet op, som Fig. 24 viser; det ses, hvorledes de to Brydninger, til og fra Normalen, her ville gaa i samme Retning, og Lyspletten ved *B* er stærkt farvet, atter rød ved den Side, som ligger nærmest ved Fortsættelsen af de indfaldende Straaler, blaa ved den anden Side.

19. Brydningsloven. Af det foregaaende Forsøg have vi allerede set, at Solen udsender Lys, der indeholder forskellige Farvestraaler, som adskilles ved Brydningen, eller med andre Ord brydes ulige meget, og det samme er Tilfældet med saa godt som alle Lysgivere. For nærmere at udfinde Brydningsloven, er det nødvendigt at tage een Farvestraale ad Gangen. Ved Maalinger af den indfaldende og den brudte Straales Retninger har man fundet den Regel, at begge Straalerne og Grænsefladens Normal ligge i een Plan, og at Forholdet mellem Sinusserne af de Vinkler, Straalerne danne med Normalen, er konstant, saa længe vi have med de samme Stoffer at gøre og kun betragte en

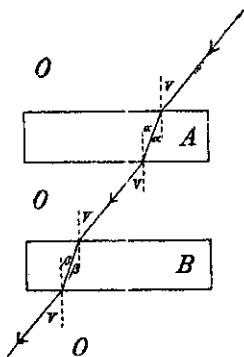


Fig. 25.

enkelt Art af Farvestraaler. Reglen gælder kun, naar de betragtede Stoffer ere fuldstændig ensartede i enhver Udstrækning; mange Krystaller have forskellig Bygning i forskellige Retninger og for disse gælder Loven ikke. Saadanne Legemer ville vi dog i det følgende ikke behandle.

Tænke vi os nu en enkelt Straale komme fra et lufttomt Rum *O* og gaa ind i et planparallelt Lag af et eller andet Stof *A*, ville vi altsaa ved Grænsen have

$$\sin v = l \sin \alpha.$$

Er der igen lufttomt paa den anden Side, faas de samme Vinkler der, og hvis Straalen atter træffer et nyt planparallelt Lag af et andet Stof *B*, stillet under samme Vinkel, har man ogsaa

$$\sin v = m \sin \beta.$$

Konstanterne l og m kaldes de to Stoffers absolute Brydningsforhold for den betragtede Straaleart.

Rykkes de to Legemer A og B nærmere til hinanden, idet de vedblive at være parallelle, saa forandres der intet ved Vinklerne, og naar A og B røre hinanden, har man derfor ved Grænsefladen

$$l \sin \alpha = m \sin \beta,$$

hvor $\frac{m}{l}$ kaldes det relative Brydningsforhold mellem Stofferne.

Vi ville i det følgende ikke komme til at tale om andre Brydninger end dem, der finde Sted mellem Luft og et andet Stof. Vi ville derfor, naar vi anvende den sidst nævnte Ligning, altid ved α og l forstaa de Størrelser, som svare til Luft, ved β og m dem, der svare til det andet Legeme.

Det relative Brydningsforhold $\frac{m}{l}$ ville vi betegne ved n , saa at Ligningen bliver

$$\sin \alpha = n \sin \beta.$$

Alle absolute Brydningsforhold ere uægte Brøker; jo større de ere, desto større optisk Tæthed siger man, at Stoffet har. Dette falder ikke altid sammen med det, vi sædvanlig forstaa ved Tæthed; Vinaand er f. Eks. optisk tættere end Vand. For Luftens Vedkommende er l kun lidt større end 1, saa vi næsten faa $n = m$.

De forskellige Farvestraaler have, som tidligere nævnt, ikke samme Brydningsforhold i et Legeme, de røde Straaler brydes mindst, derefter følge de gule, grønne, blaa og violette. Den nærmere Undersøgelse af Farverne ville vi opsætte til et senere Afsnit og tænke foreløbig kun paa Brydning af en enkelt Farvestraale. Gennemsnitlig kan man for Vand sætte $n = \frac{4}{3}$, for Glas $\frac{3}{2}$.

20. Fuldstændig Tilbagekastning. Af Formlen $\sin \alpha = n \sin \beta$ ses det, at naar Vinklen α gennemløber alle Værdier fra 0° til 90° , vil $\sin \beta$ kun gaa fra 0 til $\frac{1}{n}$ ($\frac{3}{4}$ eller $\frac{2}{3}$). Hertil svarer som Maksimumsværdi for β henholdsvis $cr. 48^\circ$ og 42° . En Straale ude fra Luften kan altsaa ikke komme

længere bort fra Grænsefladens Normal inde i Vand eller Glas end den nævnte Vinkel.

Naar vi tage det omvendte Tilfælde, at en Straale bevæger sig inde i Vand eller Glas og træffer Begrænsningen, saa kan man kun faa en reel Værdi for α , naar $\sin \alpha \leq 1$

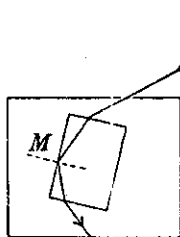


Fig. 26.

eller $\sin \beta \leq \frac{1}{n}$, det vil sige, at Straalen kan kun komme ud, dersom den inde i Vandet eller Glasset ligger nærmere end 48° eller 42° ved Normalen. Man ser tydeligt dette ved det lille Apparat fra § 18, naar man sørger for, at Straalen kan komme til at gaa saaledes, som Fig. 26 viser.

Straalen træder ikke ud ved M men tilbagekastes efter den sædvanlige Lov inde i Vandet og træder saa ud et andet Sted. En saadan Tilbagekastning finder altid Sted, naar Brydningen er umulig; man kalder det fuldstændig Tilbagekastning, fordi intet Lys gaar tabt.

Den fuldstændige Tilbagekastning kan iagttages paa flere Maader. Man kan f. Eks. danne sig et lille ganske smalt Glaskar ved at lægge to Glasplader parallelle men adskilte i de tre Kanter ved et tyndt Lag af Lak eller andet Stof, saaledes at Karret er vandtæt. Sættes et saadant tomt Kar ned i det tidligere nævnte Glaskar, som er fyldt med Vand, bliver det i visse Stillinger, som f. Eks. i Fig. 27, fuldstændig uigennemsigtigt.

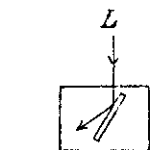


Fig. 27.

L betyder et Lys og $\emptyset$ Øjet; flytter man dette til $\emptyset_1$, ses L i fuldstændig Tilbagekastning. Hælder man Vand i det inderste Kar, bliver det gennemsigtigt, set fra $\emptyset$.

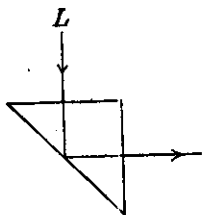


Fig. 28.

Et Glasprisme, hvis Normalsnit er en retvinklet ligebenet Trekant, er ogsaa særlig skikkaet til at vise den fuldstændige Tilbagekastning, som det ses paa Fig. 28.

21. Billeddannelse ved Brydning. Vi antage, at der nede i Vand ligger en Genstand *A*, som sender Lys op i Luften (Fig. 29). Den vinkelrette Straale gaar ubrudt igennem Grænsefladen, en anden Straale brydes, saaledes at den, forlænget baglænds, skærer den vinkelrette i *B*. Kaldes Afstanden fra *A* og *B* til Overfladen *a* og *b*, har man

$$a \operatorname{tg} \beta = b \operatorname{tg} \alpha.$$

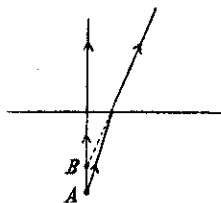


Fig. 29.

Beregnes heraf *b*, idet $\sin \alpha = n \sin \beta$, vil den i Almindelighed afhænge af Vinklerne, saaledes at de brudte Straaler ikke ville divergere fra et bestemt Punkt. Saavel af denne Grund, som fordi Lyset ved Brydning adskilles i Farver, kan der ikke dannes skarpt begrænsede Billeder. Hvis vi indskrænke os til Lysstraaler, som ligge nær ved den vinkelrette, saaledes at vi kunne sætte Tangens = Sinus, faa vi af ovenstaaende Formler

$$a = nb \text{ eller } b = \frac{a}{n},$$

det vil sige, at disse Straaler divergere fra et Punkt, der er *n* Gange nærmere ved Overfladen end Genstanden selv. Straaler, der falde mere skraat, gælder dette ikke om, men det er dog klart, at Unøjagtigheden i Billeddannelsen ikke bliver betydelig, hvis vi kun betragte et meget smalt Bundt Straaler, f. Eks. et saadant, som kan trænge gennem Pupillen i vort Øje.

Af det foregaaende forstaas det, at man gennem klart Vand altid ser Bunden nærmere ved Overfladen, end den virkelig er.

22. Brydning gennem en Glasplade. Gennem et planparallelt Stykke Glas vil en Lysstraale brydes, som Fig. 30 viser. Da Vinklerne ved begge Grænseflader ere de samme, ville den indfaldende og den udtrædende Straale være parallelle. Man vil gennem Glasset se alle Genstande flyttede lidt, navnlig naar man ser i en meget skraa Ret-

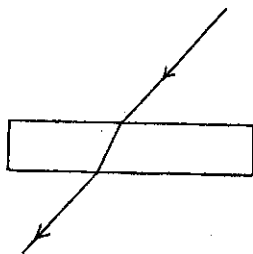


Fig. 30.

ning. Det iagttages tydeligt gennem et tykt Stykke Glas, naar man lægger en Pind bag ved Glasset, saaledes at den til Dels rager udenfor. Gennem en Vindusrude ses Flytningen kun, naar Ruden er uregelmæssig, især naar man bevæger Øjet.

23. Brydning gennem et Prisme. Vi tage et tresidet Glasprisme og skulle nu se, hvorledes en Lysstraale brydes gennem et Normalsnit i Prismet, idet vi, som tidligere bemærket, kun betragte en enkelt Farvestraale. Lys af ensartet Beskaffenhed kan man faa paa følgende Maade.

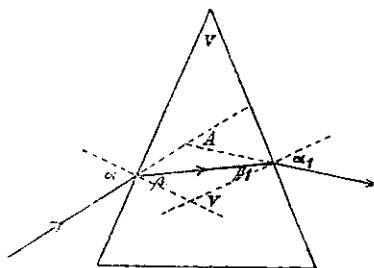


Fig. 31.

Man danner paa en Platintraad et lille Øje og smelter deri lidt Bromnatrium (eller kulsurt Natron), til det danner en lille Perle; bringes denne ind i en Spiritusflamme, faar man et stærkt gult Lys, som næsten er ensartet.

Fig. 31 viser Brydningen; den udtrædende

Straale danner med den indfaldende en Vinkel, Afvigelsen, som vi betegne ved A ; Prismets brydende Vinkel er v . Vi have da Ligningerne

$$A = \alpha - \beta + \alpha_1 - \beta_1$$

$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

$$\sin \alpha_1 = n \sin \beta_1$$

$$\beta + \beta_1 = v.$$

Heri kendes nu i Reglen v og n , og man kan da af Vinkel α beregne de øvrige Vinkler, ogsaa A .

En Lysstraale kan kun gaa igennem et Prisme, naar den brydende Vinkel er mindre end det dobbelte af den fuldstændige Tilbagekastningsvinkel. Thi da $\beta + \beta_1 = v$, maa det ene β være $> \frac{v}{2}$, men β kan aldrig overskride den fuldstændige Tilbagekastningsvinkel, naar Straalen skal igennem Begrænsningsfladen.

24. Brydningen i Hovedstillingen. Det kan bevises, at en Lysstraales Afvigelse ved Brydning gennem et Prisme

bliver saa lille som muligt, naar Straalen inde i Prismet afskærer en ligebenet Trekant; man siger, at Prismet i det Tilfælde er i Hovedstillingen for den betragtede Straale. Man har da $\beta = \beta_1$ og $\alpha = \alpha_1$, hvorved Ligningerne indskrænkes til følgende tre

$$\begin{aligned} A &= 2\alpha - 2\beta \\ \sin \alpha &= n \sin \beta \\ 2\beta &= v. \end{aligned}$$

Ved Elimination af α og β faas

$$\sin \frac{A+v}{2} = n \sin \frac{v}{2}.$$

Denne Ligning bruges ofte til at bestemme et Stofs Brydningsforhold. Man tildanner Legemet som et Prisme, hvis Vinkel v maales. Dernæst finder man ved Forsøg den mindste Afvigelse A , en Straale kan faa, og er derefter i Stand til at beregne n af Ligningen.

Man benytter til Maalingerne det i § 11 omtalte Goniometer og indstiller først Kikkerten lige paa det Rør, som bringer Lyset fra Spalten gennem Linsen, saa at man ser et Billede af Spalten. Derefter anbringes Prismet med Kanten lodret paa det lille Bord i Midten, og det drejes saaledes, at Lyset kommer til at afvige saa lidt som muligt. Kikkerten drejes saa langt, til man atter ser Billedet af Spalten og derved maales Afvigelsen A .

25. Billeddannelse ved Prismer. En nøjagtig Billeddannelse kan der ikke fremkomme ved Prismer, hvad der allerede er indlysende deraf, at en saadan ikke engang finder Sted ved en enkelt Brydning. Dog er Unøjagtigheden ikke stor, hvis Lyset er ensfarvet, og vi kun have en meget tynd Straalekegle, f. Eks. naar vi se direkte gennem Prismet, idet Straalekeglen da begrænses af Øjets Pupil. Da Straalerne, som Fig. 31 viser, brydes bort fra den brydende Kant, ser man Genstandene flyttede hen imod Kanten; ved sædvanligt Lys, som indeholder forskellige Farvestraaler, ses Genstandene med farvede Rande. Billeddannelsen bliver mindst unøjagtig, naar Prismet er i Hovedstillingen.

I de fleste Apparater, hvor Prismer anvendes, sørger man for, at de indfaldende Straaler først gøres parallelle; de ville da ogsaa være parallelle, naar de træde ud.

26. Brydning gennem en Kugleflade. Vi ville antage, at to Medier med de absolute Brydningsforhold l og m ere

Men de to Linier CA_2 og CB_2 kunne ogsaa opfattes som Projektioner af CA_1 og CB_1 ; Forholdet mellem de to første er derfor det samme som mellem de sidste, hvorfor vi have

$$l. \frac{CA_1}{MA_1} = m \frac{CB_1}{MB_1}.$$

Tællerne i Brøkerne forholde sig atter som deres Projektioner paa Aksen gennem Kalottens Midtpunkt D , altsaa Linierne CA og CB , og Nævnerne ere efter de Indskrænkninger, vi have gjort, omtrent lig med Linierne DA og DB . Derved faa vi

$$l. \frac{CA}{DA} = m \frac{CB}{DB}$$

eller ved at tage D til Begyndelsespunkt

$$l. \frac{DA - DC}{DA} = m \frac{DB - DC}{DB},$$

som kan omdannes til følgende

$$\frac{l}{DA} - \frac{m}{DB} = \frac{l-m}{DC}.$$

Heraf ses, at Punktet M er ligegyldigt, det vil sige, at alle Straaler fra A_1 ville forenes i Punktet B_1 (eller divergere fra eet Punkt, hvis B_1 ligger paa den negative Side). Endvidere følger heraf, at alle Punkter i Planen A , vinkelret paa Aksen, ville have deres Billedpunkter i en anden vinkelret Plan B .

Formlen er som sagt almengyldig, naar Linierne regnes med Fortegn. I Fig. 32 er f. Eks. DA negativ. Have vi en anden Gang at gøre med Straaler, som løbe sammen i eet Punkt, og lade dem træffe Kuglefladen, før de naa deres Foreningspunkt, saa kan dette betragtes som et indbildt Straalepunkt, hvis Afstand fra den brydende Flade er positiv.

Den nu udviklede Formel indeholder som et specielt Tilfælde den Formel, som i § 12 blev given for Tilbagekastning fra Kuglespejle. Sætter man nemlig $\frac{m}{l} = -1$, fremkommer den ene Formel af den anden. Den Ligning, som udtrykker Brydningsloven, bliver i dette specielle Tilfælde til den, som angiver Tilbagekastningsloven.

Ligeledes faas Resultatet i § 21 som et specielt Tilfælde af nærværende Formel, nemlig ved at sætte $DC = \infty$.

27. Linser. En Linse er et Legeme, i Reglen af Glas, som er begrænset af to Kugleflader. Vi gøre stadig den Indskrænkning, at Fladerne kun spænde over faa Grader, og at Straalerne falde næsten lige paa Linsen; tillige antages dennes Tykkelse forsvindende lille. En Plan A uden for Linsen faar da ved Brydning i den forreste Kugleflade sin Billedplan, som vi denne Gang

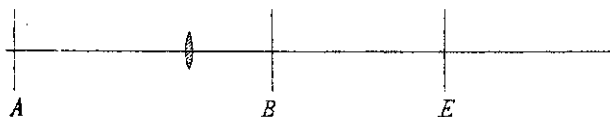


Fig. 33.

ville kalde E . Straaler fra et enkelt Punkt A_1 ville efter Brydningen have Retninger, saa de kunde løbe sammen i et tilsvarende Punkt E_1 , dersom Glasmassen strakte sig langt nok. Men forinden finder der en ny Brydning Sted i den anden Kugleflade. Med Hensyn til denne er E_1 paa Fig. 33 at betragte som et indbildt Straalepunkt, som det blev bemærket i Slutningen af forrige §, men da Formlen er gældende i alle Tilfælde, faar Planen E ved den anden Brydning paa ny Billedplanen B , som altsaa er den Plan, der ved Brydning gennem hele Linsen svarer til A .

Anvendes Formlen paa begge Brydninger, have vi

$$\frac{l}{DA} - \frac{m}{DE} = \frac{l-m}{DC}$$

og

$$\frac{m}{DE} - \frac{l}{DB} = \frac{m-l}{DC_1}$$

idet C og C_1 ere de to Kuglefladers Centrér, og Brydningen anden Gang finder Sted fra Mediet m til l . Ved Addition af Ligningerne faas

$$\frac{l}{DA} - \frac{l}{DB} = (l-m) \left(\frac{1}{DC} - \frac{1}{DC_1} \right)$$

eller ved Indførelse af det relative Brydningsforhold $n = \frac{m}{l}$ mellem Glas og Luft, samt Multiplikation med -1

$$-\frac{1}{DA} + \frac{1}{DB} = (n-1) \left(\frac{1}{DC} - \frac{1}{DC_1} \right) = \frac{n-1}{k}$$

idet $\frac{1}{DC} - \frac{1}{DC_1}$ sættes lig $\frac{1}{k}$, Linsens Krumning.

28. Forskellige Former af Linser. Man bruger de 6 forskellige Former af Linser, som ere afbildede i Fig. 34.

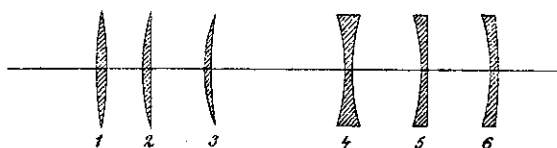


Fig. 34.

De tre første kaldes Samlelinser og ere tykkest paa Midten; de tre sidste ere Spredelinser og ere tyndest paa Midten. Kaldes Radiernes numeriske Værdier r og r_1 , blive Krumningerne følgende

1) $\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}$, idet $DC_1 = -r_1$

2) $\frac{1}{r}$, idet $DC_1 = \infty$

3) $\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}$, hvor $r_1 > r$ og $\frac{1}{r} > \frac{1}{r_1}$

Alle Samlelinser have derfor positiv Krumning.

4) $-\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}$, idet $DC = -r$

5) $-\frac{1}{r}$, idet $DC_1 = \infty$

6) $-\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}$, idet $DC = -r$, $DC_1 = -r_1$, men $r_1 > r$.

Alle Spredelinser have negativ Krumning.

For at simplificere Formlen ville vi betegne DA ved $-a$ og DB ved b , samt $\frac{n-1}{k}$ ved $\frac{1}{p}$ eller $-\frac{1}{p}$, eftersom vi have en Samle- eller Spredelinse; p kaldes Brændvidden. At DA sættes $= -a$, vil sige, at Straalepunktets Afstand

regnes positiv paa den Side, hvorfra Straalerne komme, hvorimod Billedpunktets Afstand er positiv paa den anden Side. Formlen bliver altsaa

$$\text{for Samlelinser} \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{p}$$

$$\text{for Spredelinser} \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{p}$$

29. Billeddannelse ved Samlelinser. Af Formlen ses det, at a og b begge paa een Gang kunne have Værdien $2p$; hertil svare de to sammenhørende Punkter Q og Q_1 ,



Fig. 35.

Brydningscentrerne, med deres vinkelrette Planer. Bliver den ene Afstand større, maa den anden blive mindre; de sammenhørende Punkter og Planer bevæge sig derfor til samme Side enten paa de stærkt optrukne eller paa de svagere Linier, indtil et af dem er kommen uendelig langt bort, og det andet i Afstanden p , til et af Punkterne P , Brændpunkterne. Er $a < p$, bliver b negativ, det vil sige, at en Plan A inden for Brændpunktet har sin tilsvarende Billedplan paa samme Side, og Straaler fra et Punkt i A ville efter Brydningen spredes, som om de vare udgaaede fra et andet Punkt paa samme Side.

Da Formlen for Brydningen er den samme som den, der gælder for Tilbagekastning fra et Hulspejl med samme Brænd-

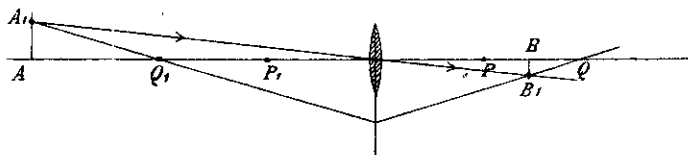


Fig. 36.

vidde, saa kan Konstruktionen af Billedplanen B faas ved at lægge A om paa den anden Side af Linsen i samme Afstand

og saa lade, som om vi havde et Hulspejl. I Reglen kunne vi dog lettere tegne Hjælpelinierne paa en noget anden Maade. Fra A_1 trækkes nemlig Straalen til Linsens Midtpunkt; den gaar ubrudt igennem, fordi Linsen paa det Sted er at betragte som en planparallel Plade med forsvindende Tykkelse. Dernæst trækkes en Linie fra A_1 gennem Brydningscentret Q_1 til Linsens Plan og derfra en Linie gennem Q ; det fremkomne Skæringspunkt er da B_1 . Det ses straks, at denne Konstruktion falder sammen med den ved Hulspejle, dersom vi vælte Linierne paa venstre Side af Linsen over paa den højre Side.

Lad AA_1 nu betyde en Genstand, f. Eks. en Stok. Vi vide da, at alle Straaler fra Knappen A_1 til Linsen brydes gennem samme Punkt B_1 ; vi faa derfor en Lyskegle, som fra Linsen løber sammen i B_1 og derfra atter aabner sig. Holde vi Øjet et Sted i denne aabne Kegel, se vi et virkeligt, frit svævende Billede af Knappen, og paa samme Maade gaar det med alle de andre Punkter af Stokken. Holde vi et Stykke Papir ved BB_1 , kunne vi ogsaa se Billedet aftegne sig paa Papiret, hvis Billedet er lysstærkt nok. Er Genstanden tilstrækkelig fjern, falder Billedet i Brændplanen P . Straaler fra et enkelt Punkt i en saadan Genstand ere parallelle. Straaler, parallelle med Aksen, brydes gennem Brændpunktet.

Den samme Figur viser, hvorledes man konstruerer Billedet af en Genstand BB_1 mellem P og Q , idet Linierne blot trækkes den anden Vej. Er Genstanden i et af Brydningscentre, falder Billedet i det andet.

Fig. 37 viser Konstruktionen af Billedet, dersom Genstanden er mellem Linsen og Brændpunktet. Billedet er i

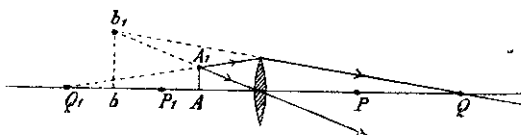


Fig. 37.

dette Tilfælde indbildt, det vil sige, det dannes ikke i Virkeligheden, men Straalerne ville efter Brydningen have Retninger, som om de udgik fra det indbildte Billede bag ved

Linsen. Stilles Genstanden i Brændplanen P (Fig. 38), kommer Billedet uendelig langt borte, det vil sige, at alle Straaler fra

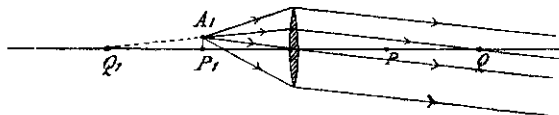


Fig. 39.

et enkelt Punkt efter Brydningen blive parallelle med Linien fra Punktet gennem Linsens Midtpunkt. Straaler fra Brændpunktet selv ville brydes parallelle med Aksen.

30. Billedernes Form og Størrelse. Af Figurerne i forrige § ses det, at de virkelige Billeder, ligesom ved Spejlene, ere omvendte men de indbildte oprette. Genstand og Billede ses under samme Vinkel fra Linsens Midtpunkt, og deres Udstrækninger, vinkelret paa Aksen, forholde sig derfor som Afstandene fra Linsen. De indbildte Billeder ere altid forstørrede. I Henseende til Dimensionerne vinkelret paa Aksen ere Billederne ligedannede med Genstandene, men dette er, som ved Spejlene, ikke Tilfældet med Udstrækningerne langs Aksen. Naar Genstanden er meget langt borte, falde Billederne af dens enkelte Punkter alle i Brændplanen. Solen afbildes som en Cirkel med Diameter $\frac{1}{100} p$.

31. Spredelinser. Af Formlen ses det, at der til et positivt a altid svarer et negativt b . Der fremkommer derfor indbildte Billeder, fra hvis enkelte Punkter Straalerne efter Brydningen synes at divergere. Af Formlen ses det endvidere, at naar enten a eller b bliver ∞ , saa er den anden lig $-p$. Dette vil sige, at Straaler parallelle med Aksen, spredes, som om de vare udgaaede fra et Brændpunkt paa samme Side af Linsen, og at Straaler, der konvergere imod Brændpunktet paa den anden Side, efter Brydningen blive parallelle. I den dobbelte Afstand fra Linsen ligge atter de to Brydningscentre.

Konstruktionen udføres, som Fig. 39 viser. Straalen fra A_1 gennem Linsens Midtpunkt gaar ubrudt igennem; fra A_1 trækkes en Linie til Brydningscentret Q , og fra denne Linies Skæringspunkt med Linsens Plan en ny Linie

gennem Q_1 , og derved bliver Billedet b_1 bestemt. Ved at vælte Linierne paa den ene Side af Linsen om paa den

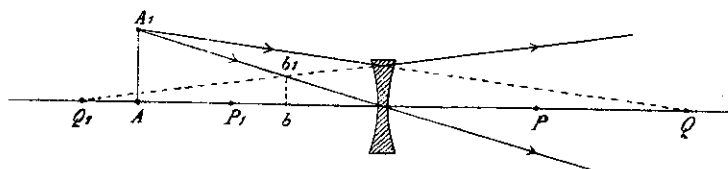


Fig. 39.

anden ser man, at denne Konstruktion falder sammen med den, der bruges ved konvekse Spejle, for hvilke Formlen jo er den samme.

De indbildte Billeder, som dannes ved Spredelinser, ere formindskede og oprette. Billedets og Genstandens Udstrækninger vinkelret paa Aksen forholde sig som Afstandene fra Linsen.

32. Akromatiske Linser. De Linser, vi hidtil have omtalt, lide alle, skønt i forskellig Grad, af en væsentlig Mangel. De Billeder, de frembringe, ere nemlig farvede ved Randen og derfor ikke skarpe. Dette kommer af, at de forskellige Farvestraaler ikke have samme Brydningsforhold, men da Linsens Brændvidde er bestemt ved $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{k}$, saa faa vi forskellig Brændvidde for alle Farvestraaler.

For at se, hvorledes denne Ulempe kan afhjælpes, ville vi først betragte Brydningen igennem to Linser, der stilles tæt op ad hinanden, uden Mellemrum. For Brydningen gennem den første have vi

$$-\frac{1}{DA} + \frac{1}{DE} = \frac{n-1}{k}$$

idet vi kalde Billedets Plan E . I den anden Linse af forskelligt Stof faas nu, dersom Brydningsforholdet er n_1 og Krumningen $\frac{1}{k_1}$,

$$-\frac{1}{DE} + \frac{1}{DB} = \frac{n_1-1}{k_1}$$

og ved Addition af de to Ligninger bliver Formlen

$$-\frac{1}{DA} + \frac{1}{DB} = \frac{n-1}{k} + \frac{n_1-1}{k_1}.$$

Vi se heraf, at de to Linser tilsammen virke som en enkelt, hvis Brændvidde er bestemt ved

$$\frac{1}{P} = \frac{n-1}{k} + \frac{n_1-1}{k_1}.$$

Dette gælder nu for en vis Farvestraale, f. Eks. en bestemt rød. En blaa har andre Brydningsforhold N og N_1 i de to Linser, men det er muligt at indrette det saaledes, at den samlede Brændvidde bliver ens for den røde og blaa Straale. Dertil kræves nemlig samtidig med den forrige Ligning tillige

$$\frac{1}{P} = \frac{N-1}{k} + \frac{N_1-1}{k_1}.$$

Af denne Ligning i Forbindelse med den forrige kan man bestemme $\frac{1}{k}$ og $\frac{1}{k_1}$, idet vi kende n , n_1 , N og N_1 for de Stoffer, Linserne ere dannede af, og vælge den Værdi for P , som vi ønske, Linserne skulle have tilsammen. Da Ligningerne ere af første Grad med Hensyn til de ubekendte, kunne disse altid findes, med mindre deres Koefficienter ere proportionale, eller Brøkerne

$$\frac{n-1}{N-1} \text{ og } \frac{n_1-1}{N_1-1}$$

lige store, men en saadan Relation finder netop ikke Sted mellem Brydningsforholdene, naar blot de Glassorter, Linserne ere dannede af, ere forskellige. Ved Subtraktion af de to Ligninger ser man, at

$$\frac{N-n}{k} + \frac{N_1-n_1}{k_1} = 0,$$

og da nu de blaa Straaler brydes mere end de røde, saa er $N-n$ og N_1-n_1 begge positive, hvorefter følger, at de to Størrelser k og k_1 have modsat Tegn, eller den ene Linse er en Samlelinse, den anden en Spredelinse.

Naar de to Linsers Krumninger bestemmes, som det nu er vist, ville de to Farvestraaler, vi have benyttet, efter Brydningen vedblive at følges ad. For andre Farvestraaler er

dette ikke Tilfældet, men de ville dog afvige saa lidt fra de første, at det i Praksis bliver uden Betydning.

De bedste farvefrie eller akromatiske Linser have Form som hosstaaende Tegning viser; de bestaa af en dobbelt konveks Crownglaslinse og en Spredelinse af Flintglas.

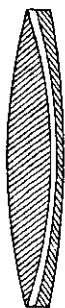


Fig. 40.

33. Anvendelsen af Linser er meget stor. Vi behøve blot at tænke paa Brilleglas, Forstøringsglas, Mikroskoper og Kikkerter. I de sidste to er det absolut nødvendigt at bruge gode akromatiske Linser, hvis Apparatet skal virke godt. For øvrigt komme vi i det følgende Afsnit tilbage til disse Ting. I det fotografiske Apparat anvendes ogsaa en akromatisk Linse til at danne Billedet paa en Plade, der er tilberedt paa en saadan Maade, at Lyset kan indvirke paa den. De Genstande, som fotograferes, ere i Reglen saa langt borte, at alle deres enkelte Punkter afbildes i Linsens Brændplan. Linsen forskydes ved en Skrue, indtil Billedplanen falder paa den følsomme Plade. Undertiden anvendes et lignende Apparat, hvor Billedet falder paa en Glasplade, over hvilken der lægges et Stykke Papir, saa at man paa dette kan aftegne Genstanden. I en Laterna magica eller Skioptikon bruges Linsen til at danne virkelige, forstørrede (og omvendte) Billeder af smaa Ting eller Tegninger. Disse belyses først stærkt af en Lampe med Hulspejl, og deres Billeder bringes til at falde paa en hvid Skærm. Man kan ogsaa indrette det saaledes, at Solen bruges til at belyse Genstandene stærkt, før Billeddannelsen sker; man har da Solmikroskopet.

Af overordentlig Betydning er det, at man ved Hjælp af Linser kan indrette udmærkede Fyr; de bedste ere de saakaldte Blinkfyr. De bestaa af flere Linser, ordnede i en Polygon, med et fælles Brændpunkt, hvor Lampen stilles. Gennem Linserne udsendes der da Straalecylindre hen over Havfladen, og idet alle Linserne ere anbragte paa et fælles Stillads, som ved et Urværk drejes rundt om en lodret Akse gennem Lampen, ville Straalecylindrene selv bringes til at rotere. Et Skib ser da et Blink, hver Gang et af Straale-

bundterne passerer det, og ved Rotationshastigheden og Linsernes Antal kan man lade Blinkene følge paa hinanden i bestemte Mellemrum, hvorved Fyrene let adskilles fra hinanden. Linserne maa være store for at opfange meget Lys, men derved blive de tillige tunge og saa tykke, at de absorbere for meget Lys. Dette raades der Bod paa ved at benytte en mindre Linse, omgivet af en Del Linseringe, hvis Gennem-

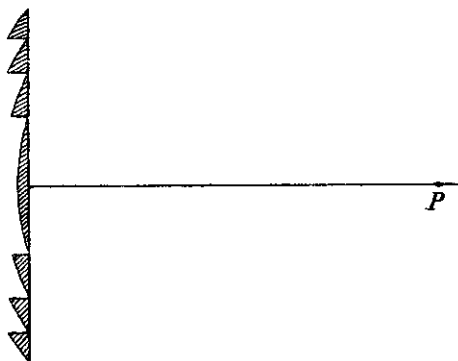


Fig. 41.

snit ses i Fig. 41. Alle Delene have saadanne Krumninger, at de faa et fælles Brændpunkt *P*. I Virkeligheden kunne Linseringene ikke dannes i eet Stykke, men sammensættes af mange smaa Sektorer, hvorved hele Linseapparatet bliver i høj Grad sammensat.

Opgaver.

23. Hvorledes kan man ved den fuldstændige Tilbagekastning forklare, at Skum af Vædske eller fint knuste faste Legemer ere hvide og uigennemsigtige. Hvorfor skinne Luftperler nede i Vand med sølvagtig Glans? Ligeledes et tomt Reagensglas i Vand.

24. En 5 Øre lægges paa Bunden af en Skaal, og man stiller sig saaledes, at Kanten af Skaalen netop lige skjuler 5 Øren. Hvorledes forklares det, at denne bliver synlig, saa snart man hælder Vand i Skaalen? Konstruer Gangen af de Lysstråler,

som træde ind i Øjet. Hvorfor synes en Stok knækket, naar en Del af den er under Vand?

25. Naar en Dykker paa Bunden af klart og roligt Vand ser op mod Overfladen, hvad ser han da?

26. Find en Formel for Afvigelsen af en Straale, som falder næsten lige ind paa et Prisme med lille brydende Vinkel.
Res. $(n-1) v$.

27. Det kan, som tidligere bemærket, bevises, at en Straale lider den mindste Afvigelse i Hovedstillingen; hvorledes opstaar Grænsen for den største Afvigelse?

28. Naar et Prismes brydende Vinkel netop er lig det dobbelte af den fuldstændige Tilbagekastningsvinkel, saa kan en Straale kun gaa igennem i Hovedstillingen. Bevis det.

29. Hvad bliver der af en Straale, som kommer ind i et Prisme, hvis Vinkel er større end det dobbelte af den fuldstændige Tilbagekastningsvinkel?

30. En dobbeltkonveks Glaslinse har samme Krumningsradius paa begge Sider. Vis, at Brændvidden omtrent er lig en af Radierne.

31. Vis, at Brændvidden i en plankonveks Linse omtrent er den dobbelte Radius.

32. Fra et Straalepunkt trækkes parallel med en Linses Akse en Linie, til den skærer Linsens Plan. Fra dette Skæringspunkt trækkes en anden Linie gennem Brændpunktet. Vis, at denne Linie gaar igennem Billedpunktet. Kan benyttes til Konstruktion af Billedpunktet.

33. Konstruer hele Straalekeglen, som fra et Punkt sendes gennem en Linse, og vis, hvilken Del, der anvendes af den, naar vi betragte Billedet frit svævende i Luften.

34. En Linse danner et Billede, virkeligt eller indbildt, af en større Genstand, og vi betragte Billedet frit svævende. Vis ved Konstruktion, hvor stor en Del af Billedet vi kunne se paa een Gang.

35. Konstruer Billedet af en uendelig fjern Genstand.

36. Konstruer Billedet af en Genstand i Brændplanen.

37. I et mørkt Værelse lader man Solen skinne ind gennem et lille Hul af vilkaarlig Form. En Linse stilles i en Afstand fra Hullet, saa der fremkommer et Billede af dette

paa en Skærm. Hvilket Gennemsnit faar Lysbündtet i Linsens sidste Brændpunkt?

38. Konstruer et Billede gennem flere Linser.

39. Naar en Linse har en Fejl paa et enkelt Sted, kan den da bruges? Kan et Stykke af en Linse bruges?

40. En Linse er skaaren over i to Halvdele, og disse ere fjernede lidt fra hinanden, saaledes at de runde Kanter ere i samme Plan. Hvorledes vil Billeddannelsen blive?

41. Hvorledes er Straalernes Gang gennem en Spredelinse, naar a og b ere negative?

Øjet; Seredskaber.

34. Øjet er dannet af en meget sejt, uigennemsigtig Hinde, Senehinden, det hvide i Øjet, men fortil er denne erstattet af en yderst gennemsigtig, mere hvælvet Hinde, Hornhinden. Hvor disse støde sammen, er der udspændt

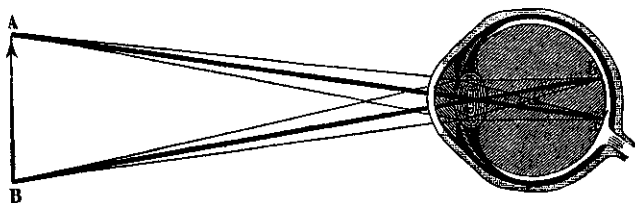


Fig. 42.

den ringformede Regnbuehinde, som er farvet og kun lader Lyset gaa igennem den cirkelformede Aabning i Midten, Pupillen; ved svagere Belysning trækker Regnbuehinden sig sammen, saa Pupillen bliver større. Bag ved denne sidder Krystallinsen, som er en Samlelinse; den deler Øjets Indre i to Dele, af hvilke den forreste er fyldt med en vandklar Vædske, den bagerste med en geléeagtig Masse. Inden for Senehinden udbreder Aarehinden sig; den bestaar af et fint Net af Aarer, hvis Mellemrum ere fyldte med Celler, som indeholde et mørkt Farvestof. Inden for Aarehinden

ligger Nethinden, der indeholder Synsnervens fine og talrige Forgreninger.

Øjet virker som et Linseapparat og danner Billeder af Genstandene paa Bagsidens Nethinde. Denne er paa et meget stort Stykke modtagelig for Lysindtryk, saa man omtrent kan se i alle Retninger foran sig. Dog kan Sansningen ikke finde nøjagtig Sted, uden naar Billeddannelsen sker paa et bestemt Sted, den gule Plet. Denne ligger omtrent i Øjeaksen, hvorfor man retter Øjnene lige mod den Genstand, som betragtes; naar man f. Eks. hører en Lærke synge oppe i Luften, kan man ikke se den, før det lykkes at faa dens Billede til at falde paa den gule Plet. Paa dette Sted er Nethindens Bygning særlig fin.

Derimod er Øjet uimodtageligt for Lysindtryk paa den blinde Plet, som er det Sted, hvor Synsnerven træder ind i Øjet. Man kan overbevise sig herom paa følgende Maade. Man stiller sig lige ud for et lille Skilderi paa Væggen og betragter det med venstre Øje, medens man lukker det højre. Drejer man nu det venstre Øje langsomt mod højre, kommer man snart til en Stilling, hvor Skilderiet forsvinder fuldstændigt, medens det atter kan skimtes, naar Øjet drejes videre.

Nethindebillederne ere altid smaa; dog maa deres Størrelse ikke gaa under en vis Grænse, naar de skulle sanses. Dette kan ogsaa udtrykkes paa den Maade, at vi kun kunne se Genstande, naar vi betragte dem under en Synsvinkel, som ikke er alt for lille; man regner sædvanligvis $\frac{1}{2}$ Minut som den Grænse, Synsvinklen ikke maa gaa under, med mindre Belysningsforholdene ere særlig gunstige.

I Henseende til Belysningen kommer det ikke alene an paa den Klarhed, Tingen selv har, men ogsaa paa den Baggrund, hvorpaa den ses. I Vinternættérne, hvor Solen staar dybt under Horizonten, og det spredte Himmellys er svagt, ser man en Mængde Stjerner skinne med stærk Glans, skønt de alle ses under yderst smaa Vinkler; i Sommernætterne ser man derimod kun de største Stjerner, og om Dagen slet ingen. Ligeledes synes Maanens Lys os ganske ubetydeligt

om Dagen, skønt den i sig selv skinner lige saa stærkt som om Natten.

Nethinden indeholder foruden Synsnervens Forgreninger tillige en Mængde Nerveceller samt de saakaldte Stave og Tapper, der staa som Palisader tæt op ad hinanden, radiært paa hele Fladen, i et Antal af cr. 3 Millioner. Stavene indeholde et rødt Farvestof, Serødt, der hurtig bleges i Lyset og altsaa spiller en Rolle ved Synsopfattelsen. Det frembringes paa ny i nogle af Cellerne, under almindelige Forhold hurtigt nok, til at Forraadet er tilstrækkeligt. Ved svag Belysning bruges der mere, og der findes Individuer, som under de Forhold ikke kunne frembringe det hurtigt nok og derfor ikke se saa godt i Tusmørke som andre. En saadan Natteblindhed er ofte arvelig i andet Led, fra Bedstefaderen til Dattersønnen; den findes næsten kun hos Mænd.

35. Akkommodation. For at vi kunne se tydeligt, maa Billederne dannes skarpt paa Nethinden. Dette vilde ifølge Reglen for Brydning gennem Linser kun kunne finde Sted, naar Genstanden var i en ganske bestemt Afstand, hvis Øjet ikke var i Stand til at akkommodere sig. Naar Genstanden f. Eks. rykker nærmere, flyttes Billedet i samme Retning og vilde altsaa ikke dannes skarpt, dersom Øjet ikke kunde forandre sig saaledes, at dets Brydning blev større. Dette sker nu ved Hjælp af Linsen, som krummer sig mere. Normale Øjne kunne uden Akkommodation samle parallelle Straaler til eet Punkt paa Nethinden men akkommodere sig til en vis Grænse. Evnen til saaledes at afpasse sig er størst hos Børn; hos voksne Mennesker ligger Nærpunktet i cr. 30 cm Afstand, det vil sige, man kan ikke se tydeligt paa kortere Afstande uden at Akkommodationen trætter Øjet. Et saadant Øje kaldes fjernsynet (emmetropisk). I en ældre Alder bliver Akkommodationsevnen endnu ringere og er saa godt som ophævet i 70 Aars Alderen. Øjet er da langsynet (presbyopisk), og for at hjælpe paa den mangelfulde Brydning i selve Øjet bruges Konveksbriller til lagttagelse af nærmere liggende Genstande.

Det er ikke alle Øjne, som ere byggede saaledes, at de uden Akkommodation kunne danne Billeder af meget fjerne Ting. Nogle ere kortere end Brændvidden, saa at Billederne af de fjerne Ting ikke kunne naa at danne sig paa Nethinden. Øjelægerne kalde et saadant Øje oversynet (hypermetropisk).

Naar Akkommodationsevnen ikke er tilstrækkelig, understøttes Synet baade af fjerne og nære Genstande ved Konveksbriller. Andre Øjne ere længere end Brændvidden, saa at de fjerne Genstandes Billeder dannes foran Nethinden; de kaldes nærsynede (myopiske). Ved Hjælp af passende Konkavbriller kan et saadant Øje faa den stærke Brydning ophævet og se tydeligt i større Afstande. Rykker Genstanden nærmere, flytter Billedet sig hen mod Nethinden, og de nærsynede Øjne kunne derfor uden Briller se Genstande inden for et vist Fjernpunkt og ved Akkommodation iagttage Ting, som ere meget nær ved Øjet.

36. Synet med to Øjne, Stereoskopet. Naar vi se en Ting med begge Øjne, rette vi begges Akser lige mod Genstanden. Den Vinkel, Akserne derved kommer til at danne, lærer Erfaringen os at benytte til at faa en Forestilling om Afstanden af Genstande, som ikke ere for langt borte, skønt ogsaa andre Ting hjælpe os til det samme, f. Eks. Genstandenes tilsyneladende Størrelse og Stilling i Forhold til andre Ting. Vi kunne let ved Forsøg overbevise os om, hvor meget Synet med to Øjne hjælper til at bedømme Afstandene. Vi kunne f. Eks. hænge en Ring i en Snor midt i Værelset og tage en lang Stang med en Krog i Enden. Det vil da være vanskeligt paa nogen Afstand at træffe med Krogen ind i Ringen, saafremt man lukker det ene Øje. Ligeledes skuffes vi lettere af Perspektivet i et godt Maleri, naar vi lukke det ene Øje.

Ved Hjælp af begge Øjnene ville vi desuden kunne betragte nogenlunde nære Genstande fra lidt forskellige Sider og saaledes tydeligere se, at Genstandene have Udstrækning i Rummet. Man behøver blot at stille en mindre Ting op paa Bordet og afvekslende se paa den med det højre og venstre Øje for at iagttage en tydelig Forskel paa det, man ser. Man benytter dette i Stereoskopet, som er et Redskab til at se Billeder paa en saadan Maade, at de afbildede Genstandes Udstrækning i Rummet træder tydeligt frem. Lad os f. Eks. tage en ret firsidet Pyramide; stilles denne paa Bordet, og holdes Ansigtet lige oven over, saa ses



Fig. 48.

Pyramidens Kanter med de to Øjne saaledes, som hestaaende Figur 43 viser. Betragtes nu dette Billede gennem to Linser (eller Dele deraf), saa kunne vi af

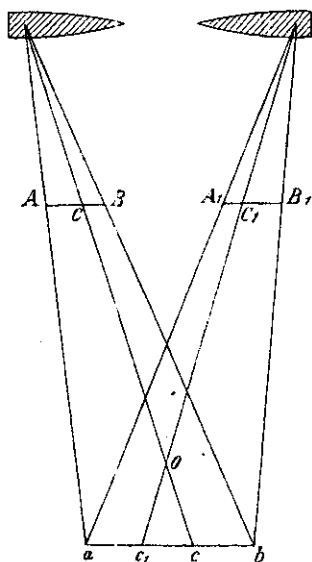


Fig. 44.

Fig. 44 forstaa, hvorledes Pyramiden træder tydeligt frem. AB og A_1B_1 betyde de to Kvadrater i Tegningen, sete fra Siden, C og C_1 Toppunkterne, saaledes som de i Tegningen vise sig paa Kvadraterne. Naar nu Tegningerne lægges paa passende Steder inden for Linsernes Brændpunkter, saa kan der frembringes indbildte, forstørrede Billeder, saaledes at Kvadraterne med begge Øjne ses lige oven paa hinanden i ab , medens Toppunktet vil sende Straaler ind i Øjnene i Retningerne cC og c_1C_1 og altsaa gøre Indtryk paa os, som om det i Virkeligheden laa i Punktet O .

Virksomheden af et godt Stereoskop kan være meget skuffende; Billederne af Genstanden faas bedst ved at fotografere den i samme Øjeblik fra to lidt forskellige Steder, idet man bruger et fotografisk Apparat med to Linser i ca. 1 dm Afstand.

37. Lysindtrykkets Varighed. For at Lyset kan gøre Indtryk paa vort Øje, maa det vare en vis Tid; en udskudt Kugle kan ikke ses i Luften. Omvendt forsvinder Indtrykket ikke straks, naar det har haft en tilstrækkelig Styrke; en brændende Cigar, som svinges rundt, ses som en lysende Cirkel.

Man kan ved et særegent Kunstgreb faa en Række enkelte Lysindtryk til at frembringe den Forestilling, at de hidrøre fra en Ting, som forandrer sig jævnt uden Spring. Det bedste Apparat hertil er en temlig lav men bred Papcylinder, som anbringes paa en lodret Akse, omkring hvilken den kan drejes rundt. I Cylindrens Omkreds er der paa langs

udskaaret en Del smalle Ridser, gennem hvilke man kan se ind i Cylindren, mens den drejer sig. Langs den indvendige Periferi sættes en Papirstrimmel, paa hvilken man har tegnet en Række Figurer, som vise, hvorledes en Ting, der er i Bevægelse, tager sig ud i enkelte bestemte Øjeblikke. Hosstaaende Figur skal paa den Maade afbilde en Kugle, som glider

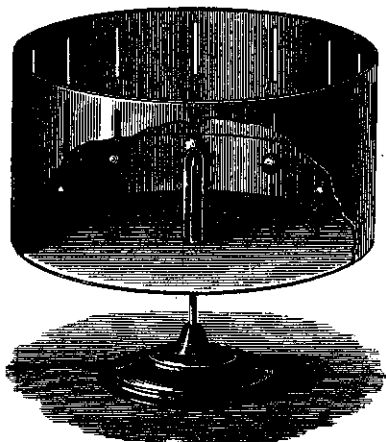


Fig. 46.

op og ned ad en Stang. Naar denne Strimmel er inde i Cylindren, og Apparatet drejes rundt, vil man efterhaanden se igennem de forskellige Ridser, og hver Gang se den enkelte Figur, som er lige modsat Ridsen. De enkelte Lysindtryk smelte da sammen, og det ser ud, som om Kuglen virkelig løb op og ned ad Stangen.

De bedste Billeder af denne Art faar man ved at tage en hel Række Øjebliksfotografier efter Virkeligheden, med meget korte Mellemrum mellem hinanden. En Hunds eller Hests Løb kan paa denne Maade vises fuldstændig naturlig.

38. Forstøringsglas. Naar det gælder om at se Enkelt-heder paa en Ting, maa denne rykkes nær til Øjet, for at alle dens enkelte Dele kunne ses under saa store Synsvinkler som muligt. Men nu er der en Grænse for, hvor korte Afstande Øjet kan akkommodere sig efter, eller med andre Ord, Øjelinsen kan ikke krumme sig længere end til en vis Grad, som ganske vist ikke er ens for alle Øjne. For nu at se en Ting paa meget nært Hold, sætter man en Samlelinse foran Øjet; herved forøges Brydningen, og der kan dannes skarpe Billeder paa Nethinden, selv om Genstanden er meget nær ved Øjet. Jo mere krum Samlelinsen, Lupen, er eller jo kortere dens Brændvidde er, desto mindre er den Afstand, hvori man kan betragte Genstanden. Synderlig

vidt kan man dog vanskelig gaa paa denne Maade, idet Linser med meget kort Brændvidde have Overflader med smaa Radier; men da man aldrig kan bruge store Dele af Kuglerne, blive saadanne Linser saa smaa, at der kun gaar meget lidt Lys igennem dem.

Dersom vort Øje er normalt fjernsynet, anbringe vi Lupen saaledes, at Genstanden er i dens Brændplan (Fig. 46).

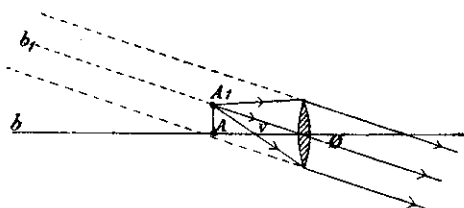


Fig. 46.

Straalerne fra et enkelt Punkt ville da efter Gennemgangen gennem Lupen være parallelle. Figuren viser de Straaler, som udgaa fra A_1 ; de, som komme fra A , ville efter Brydningen være parallelle med Aksen. Forholdet er nu det samme, som om der var et Billede bb_1 uendelig langt borte, og vi saa det under en større Synsvinkel, end det er muligt med blotte Øjne at se Genstanden selv. Kalde vi Synsvinklen v og huske paa, at den altid er en lille Størrelse, kan den sættes lig $\frac{AA_1}{p}$, idet p er Lupens Brændvidde. Betragt vi derimod Genstanden uden Lupe, bliver Synsvinklen $\frac{AA_1}{s}$, ifald s er den mindste Afstand, vi kunne akkommodere os for. Forstørrelsen er derfor

$$\frac{AA_1}{p} : \frac{AA_1}{s} \text{ eller } \frac{s}{p}.$$

Det er med Hensyn til Forstørrelsen ligegyldigt, hvor langt man holder Øjet bag ved Linsen, fordi Straalerne vedblive at være parallelle. Men hvis vi paa Figuren tegne Straaler fra flere Punkter af Genstanden, ville vi se, at de parallelle Straalebundter efter Brydningen divergere. Jo længere Øjet altsaa er bag ved Linsen, desto færre af disse Lysbundter kunne paa een Gang sende Lys ind i Øjet, det

vil sige, vi overse kun en mindre Del af Genstanden, eller Synsfeltet er mindre.

Hvis Øjet ikke er fjernsynet, maa Genstanden være inden for Lupens Brændplan, saa at der dannes et indbildt Billede i en saadan Afstand, at Akkommodationen er mulig.

39. Mikroskopet bestaar i Hovedsagen af en lille Samlelinse, Objektivet, med meget kort Brændvidde, og en større Samlelinse, Okularet. De ere indfattede i Rør, som i Reglen kunne forskydes lidt i hinanden. Genstanden AA_1 lægges lidt uden for Objektivets Brændpunkt, saa der dannes et virkeligt, forstørret Billede BB_1 . Dette betragtes gennem Okularet som en Genstand gennem en Lupe. Figuren viser Gangen af Straalerne fra A_1 , idet vi antage, at Øjet er fjernsynet, og BB_1 ligger i Okularets Brændplan, saaledes at man ser et indbildt Billede cc_1 uendelig langt borte. Den punkterede Linie er en Hjælpe-linie for at konstruere Retningen af Straalerne fra B_1 efter Gennemgangen gennem Okularet; hvis en saadan Straale som den punkterede Linie nemlig fandtes, vilde den gaa ubrudt igennem. Punktet B_1 vil derfor ses i Retningen c_1 .

Hvis Øjet ikke kan se ved parallelle Straaler, maa man ved en fin Skrue enten forskyde hele Mikroskopet eller Genstanden, saaledes at Billedet BB_1 kommer lidt inden for Okularets Brændvidde.

Det er af Figuren indlysende, at Synsvinklen ved et saadant Mikroskop forstørres mange Gange, men man ser ogsaa, at Synsfeltet ikke bliver stort, idet et Okular af rimelig Størrelse ikke vil kunne opfange Straaler, som gaa

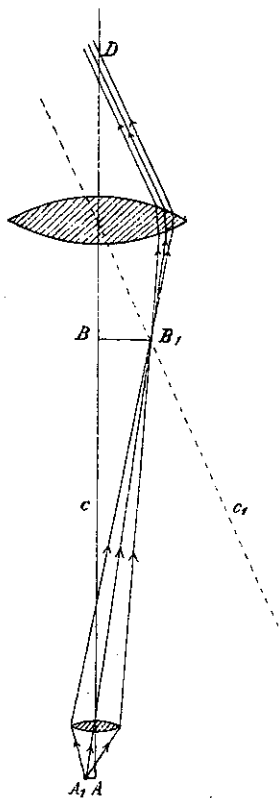


Fig. 47.

synderlig skraat imod Aksen. Det største Synsfelt opnaas, naar man holder sit Øje paa det Sted, som i Fig. 47 er betegnet ved *D*. Ved at konstruere Straalernes Gang fra *A*, vil man nemlig finde, at de efter Brydningen gennem Okularet blive parallelle med Aksen og gaa igennem *D*, og det samme er Tilfældet med Straaler fra alle Punkter i *AA*₁. At et saadant Sted maa eksistere, kan man slutte deraf, at selve Objektivet maa forholde sig som en Genstand over for Okularet og altsaa have sit virkelige Billede *D*. Alt det Lys, som gaar igennem Objektivet, maa derfor ogsaa gaa igennem Billedet *D*; det kaldes Okularringen og ligger tæt uden for Okularet.

Man opnaar de bedste Billeder, naar man lader Objektiv

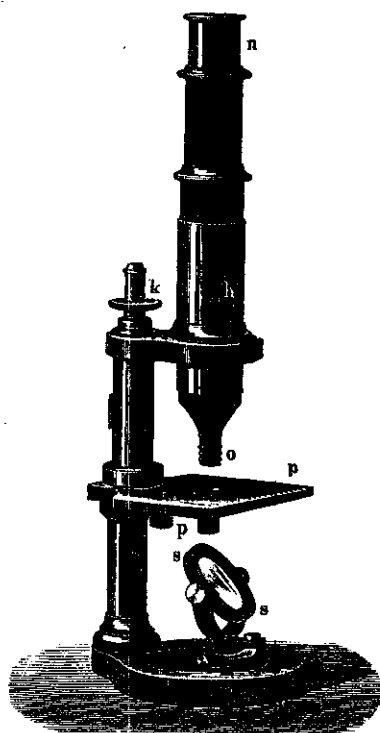


Fig. 48.

tivet besørge den væsentligste Forstørning. For at undgaa altfor smaa Objektiver bruger man gerne at sammensætte dem af 2 eller 3, som hver for sig ere akromatiske paa sædvanlig Maade. For at forøge Synsfeltet bruger man et Okular, som ogsaa er sammensat af to Linser, af hvilke den, der først træffes af Straalerne, har en større Brændvidde og derfor kan gøres temlig stor. Naar Straalerne da ved denne ere bøjede noget indad, træffe de den anden Okularlinse, som besørger den egentlige Forstørning. Okularlinserne ere almindelige

Linser, men ved et passende Valg af Brændvidde og Afstand kan det sammensatte Okular blive temlig akromatisk.

Genstanden anbringes i Reglen i en Draabe Vand eller anden gennemsigtig Vædske mellem to Stykker Glas, af hvilke det øverste, Dækglasset, maa være meget tyndt, for at Objektivet kan komme tæt ved Genstanden. Dennes Klarhed bliver paa Grund af Forstørringen svækket betydeligt; der maa derfor sørges for en stærk Belysning ved Hjælp af Hulspejl eller Linse.

Forstørringen kan nok beregnes men maales lettere ved Redskaber, som ere indrettede dertil. Man kan f. Eks. paa en Glasplade ved Hjælp af en Delemaskine ridse 100 Streger paa en Millimeter og betragte disse gennem Mikroskopet, medens der oven over Okularet er anbragt et lille Spejl paa en saadan Maade, at man samtidig kan se Spejlbilledet af en rigtig Millimeterstok, der er stillet i den tydelige Synsviddes Afstand. Derved kan det iagttages, hvor mange virkelige Millimetre en enkelt af Inddelingerne under Mikroskopet spænder over. Der kan opnaas en lineær Forstørring af over 1000 Gange.

Fig. 48 viser et fuldstændigt Mikroskop.

40. Den astronomiske Kikkert bestaar af et Objektiv med stor Brændvidde og et Okular. En langt bortliggende Genstand danner sit Billede i Objektivets Brændplan, og dette betragtes gennem Okularet ligesom gennem et Forstørrelsesglas. Fig. 49 viser Straalernes Gang fra en Genstand

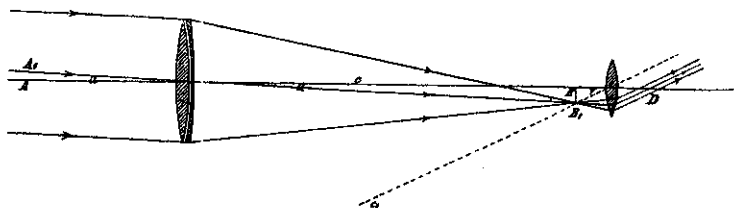


Fig. 49.

AA_1 , som antages staaende paa Aksen meget langt borte. Fra Genstandens øverste Punkt sendes de skraa parallelle Straaler til Objektivet, de samles i Punktet B_1 , divergere atter derfra og blive ved Brydningen igennem Okularet parallelle med den punkterede Hjælpelinie, saa vi se det indbildte og omvendte Billede cc_1 uendelig langt borte under Synsvinklen φ .

Er Øjet ikke uendelig fjernsynet, maa Okularet skydes lidt ind.

De Straaler, som udgaa fra Genstandens andre Punkter, ere ikke tegnede, men de ville alle tilsidst skære hinanden i en Okularring D , som er Objektivets Billede gennem Okularet. Paa dette Sted maa Øjet holdes, for at opfange saa mange Straaler som muligt, det vil sige for at faa det størst mulige Synsfelt.

Genstanden, som uden Kikkert ses under Synsvinklen u , iagttages nu under Vinklen v . Kaldes Objektivets Brændvidde P , Okularets p , have vi

$$BB_1 = Pu = pv.$$

Og da Forstørrelsen f er Forholdet mellem Synsvinklerne, faa vi

$$f = \frac{P}{p}.$$

Men det kan tillige bevises, at dette Forhold ogsaa er Forholdet mellem Objektivets og Okularringens Diametre. Kaldes disse nemlig O og D , medens deres Afstande fra Okularet ere $P + p$ og x , faa vi

$$\frac{O}{D} = \frac{P + p}{x}$$

og til Bestemmelsen af x Ligningen

$$\frac{1}{P + p} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p}.$$

Ved Elimination af x faas nu netop

$$f = \frac{P}{p} = \frac{O}{D}.$$

Vi kunne derfor bekvemt beregne Forstørrelsen ved at maale de to Diametre O og D . Okularringen ses let som en lille lysende Plet uden for Okularet. Man maa passe paa at regne med den Del af Objektivet, som virkelig bruges, thi i mindre gode Kikkerter er Randen ofte afblændet, idet naturligvis den yderste Del af en Linse altid er den mindst gode, fordi dens Overflade tilhører en Kuglekalot med større Gradeantal. Hvis Randen af Objektivet er blændet, kan man se det ved at føre Kanten af en Lineal hen foran det; jo længere man kan føre denne frem, inden Okularringen begynder at blive flad paa den ene Side, desto mere er der blændet.

Forstørringen kan i øvrigt ogsaa maales ved at se i Kikkerten f. Eks. paa en Mur, samtidig med at man betragter Muren direkte med det andet Øje. Man kan da se, hvor mange Mursten, set direkte, der dækkes af Kikkertens Billede af en enkelt Sten.

For at Kikkerten skal være god, er det nødvendigt, at Objektivet er godt akromatisk. For meget store Forstøringer maa det have en stor Brændvidde, og Okularet en lille. Det sidste bliver derfor ikke ret stort i Diameter, hvilket atter har til Følge, at det ikke kan opfange Straaler, som komme ret skraat, det vil sige, Synsfeltet bliver ringe. For at forøge dette bruger man ligesom i Mikroskoper et sammensat Okular. Kikkertens Forstørring kan ogsaa i dette Tilfælde maales ved Hjælp af Okularringen ligesom før.

Til gode Kikkerter hører der ofte flere Okularer, saa man kan variere Forstørringen. Hvor vidt denne kan drives, afhænger af flere Ting. For det første vil Forstørringen bevirke, at Genstandene ses med formindsket Klarhed, idet Lyset, som udgaar fra dem, spredes over en større Flade. Ganske vist opfanger Kikkerten meget bredere Lyskegler fra Genstandenes enkelte Punkter, end vort Øje ellers kan gøre, men Resultatet bliver alligevel ved nogenlunde store Forstøringer en Formindskelse af Klarheden. Derfor iagttages lyssvage Himmelleger, f. Eks. Kometerne, bedst, naar Forstørringen ikke er for betydelig. Naar man bruger Kikkert, slipper man for at faa det spredte Lys fra hele Himmelhvælvingen ind i Øjet; da dette Lys nu ikke mere blænder, er det muligt i Kikkerter at se baade Fiksstjerner og Planeter om Dagen, selv dersom de staa i Solens Nærhed. For Fiksstjernernes Vedkommende forøges Glansen ved Brug af Kikkerter; Forstørringen spiller nemlig ikke nogen Rolle for disse Stjerner, hvis Billeder paa Netinden altid ere saa smaa, at Lyset koncentrerer paa et enkelt Sted, medens Kikkerten, som oven for sagt, opfanger en meget større Lyskegle, end Pupillen ellers kan. Derfor ser man i Kikkerter en utrolig Mængde smaa Stjerner, som ere usynlige for det blotte Øje. (Se nærmere Opg. 80—82.)

Et andet Forhold, som spiller en stor Rolle med Hensyn til Forstørringen, er Atmosfærens Beskaffenhed. Er Luften

uklar og urolig, blive stærkt forstørrede Billeder unøjagtige.

Den største Kikkert findes paa Lickobservatoriet i Kalifornien. Dens Objektiv er $0,9\text{ m}$ i Gennemsnit, og Brændvidden er 17 m ; den akromatiske Objektivlinse alene har kostet 53,000 Dollars. Der findes Okularer til en Forstørring af 4000 Gange, men der kan vist meget sjælden bruges over det halve. Efter denne findes de største Kikkerter i Pulkowa ved St. Petersborg, Wien og Nizza. Den store Kikkert i København har et Objektiv paa $27\frac{1}{2}\text{ cm}$ med en Brændvidde paa $4,7\text{ m}$. Der kan hos os kun meget sjælden bruges Forstøringer til hen imod 600 Gange.

41. Den terrestriske Kikkert. Da den astronomiske Kikkert giver omvendte Billeder, maa man for at iagttage Ting her paa Jorden indrette Kikkerten lidt anderledes. Der indskydes nemlig 1 eller 2 Linser mellem Objektivet og Okularet, saaledes at det Billede, Objektivet danner, bliver vendt om, før det iagttages gennem Okularet. Fig. 50 viser

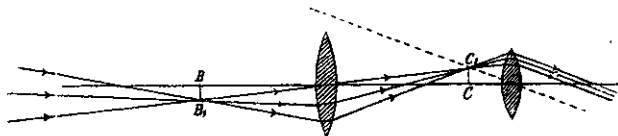


Fig. 50.

en Del af en saadan Kikkert; BB_1 forestiller det Billede, Objektivet danner, medens CC_1 er det, som betragtes gennem Okularet. Herved forøges Kikkertens Længde. Til iagttagelser paa Jorden kan man aldrig bruge nogen meget stor Forstørring, da Atmosfæren er for uklar dertil og Genstandene for lyssvage.

42. Teaterkikkerten har et Objektiv som de andre Kikkerter, men det Billede, som skulde fremkomme i Brændplanen, faar ikke Lov til at danne sig, idet Straalerne forinden opfanges af en Spredelinse. For fjernsynede Øjne skal denne anbringes saaledes, at dens bagerste Brændpunkt falder sammen med Objektivets. Straalernes Gang ses af hosstaaende Figur. Billedet bliver opret. Da Straalerne efter Gennemgangen gennem Okularet ikke samles i nogen Okularring,

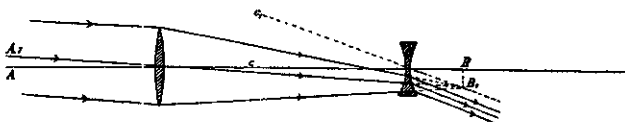


Fig. 51.

faar man et ringe Synsfelt, med mindre Forstørringen er ubetydelig. En almindelig Teaterkikkert forstørrer kun 2—3 Gange.

Det var med en Kikkert af denne Slags, at Galilæi gjorde sine astronomiske Opdagelser.

43. Spejlkikserter. I Bunden af Kikkertrøret findes et Hulspejl med stor Brændvidde, men den midterste Del af Spejlet er i Reglen udskaaet. Spejlet frembringer et om-

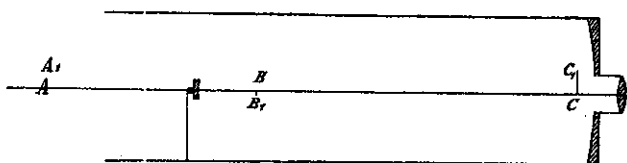


Fig. 52.

vendt Billede af Genstanden AA_1 i sin Brændplan, men dette Billede BB_1 spejler sig atter i et lille Hulspejl, som giver et nyt, anden Gang omvendt, altsaa opret Billede CC_1 ved det omtalte Hul i det store Spejl. Dette Billede betragtes gennem et Okular. For Indstillingens Skyld er det lille Hulspejl befæstet til Kikkertrøret saaledes, at det ved en Skrue kan flyttes lidt.

Man bruger ogsaa ved store Kikserter af denne Slags at stille det store Hulspejl en lille Smule skraat, saa Billedet B dannes ved Kanten af Rørets fri Ende. Dette Billede

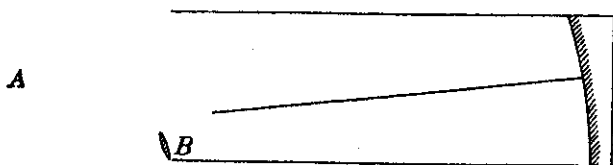


Fig. 53.

betragtes da straks gennem et Okular. Man skal i det Tilfælde se ned i Røret og altsaa vende Ryggen til det Himmellege, der betragtes. Ved saadanne Spejlkikkerter bliver det derfor nødvendigt at bygge et stort Stillads med Trapper og Afsatser, hvorved Iagttageren kan komme til Vejrs op ved Kikkertens Munding.

Spejlkikkerter bleve oprindelig konstruerede, fordi man tidligere ikke kunde lave farvefri Linser. Det er endnu heller ikke lykkedes at lave Linser af saa store Dimensioner som Spejle, men selv om Linsekikkerter (Refraktorer) ikke have saa stor Forstørring som Spejlkikkerter (Reflektorer), ere de dog meget bedre og foretrækkes næsten altid.

Den største Spejlkikkert findes i Irland (Lord Rosse); den har en Brændvidde af 16 m, og Spejlet er i Diameter 1,8 m.

Opgaver.

42. I et Stykke Papir stikker man et Hul med en Knappenaal; gennem dette Hul kan man se Genstande meget nærmere ved Øjet end ellers. Forklar dette.

43. Hvis man i Papiret stikker to Huller, tæt ved hinanden, ser man igennem dem en Ting dobbelt, naar den er inden for Nærpunktet. Forklar det. Hvorledes kan dette bruges til at finde Nærpunktet?

44. Naar man med et stereoskopisk Fotografiapparat har taget de to næsten ens Billeder af en Genstand, saa maa de ombyttes, før man betragter dem i Stereoskopet. Hvorfor er det nødvendigt?

45. Hvis man indstiller en Lupe saaledes, at den danner det indbildte Billede i den mindste tydelige Synsvidde, hvad er da Forstørringen.

$$\text{Res. } 1 + \frac{s}{p}.$$

46. I et Mikroskop foretager man den sidste fine Indstilling ved at hæve eller sænke den Plade, hvorpaa Genstanden ligger. Hvis en fjernsynet Person har stillet Mikroskopet efter sine Øjne, hvorledes maa da en nærsynet forandre Genstandens Beliggenhed?

47. Naar man ser et Stykke af et Flueøjje i Mikroskopet, ser det ud som en Mængde Sekskanter. Enhver af disse indeholder en Linse, hvad man kan overbevise sig om paa følgende Maade. Man holder en Genstand foran det Hulspejl, som tjener til at forstærke Belysningen. Spejlet kan da frembringe et Billede af Genstanden under Flueøjjet, og hver af dets Linser nye Billeder over det. Hvorledes skal man forandre Indstillingen for at se alle disse Billeder forstørrede i Mikroskopet?

48. Vis, at Forstørringen ved en Teaterkikkert ogsaa kan maales ved Forholdet $\frac{P}{p}$.

49. Hvorledes maa en nærsynet Person forskyde Okularet i en Teaterkikkert, dersom han ser lige efter en fjernsynet?

Farver.

44. **Farveadspredning gennem et Prisme.** Naar vi lade Solstraalerne træde ind i et mørkt Kammer gennem et lille Hul i Vindusskodden, se vi, som tidligere forklaret, paa den modsatte Væg et rundt Solbillede. Anbringe vi derimod inden for Hullet i Skodden et Prisme med Kanten lodret, se vi Lyset blive brudt til Siden men samtidig opløses i forskellige Farver, saa at der paa en Skærm, som holdes paa et passende Sted, fremkommer et langt farvet Billede, et Sol-spektrum. Vi lære

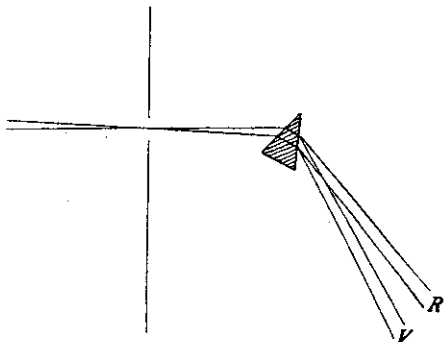


Fig. 54.

heraf, at det hvide Sollys i Virkeligheden indeholder Straaler af forskellig Art, som brydes ulige meget. Farverne i Spektret gaa fuldstændig jævnt over i hinanden, de mindst brydbare Straaler ere de røde, derefter kommer de gule, grønne, blaa

og til sidst de violette, som brydes stærkest. Farverne kunne dog ikke være ganske rene eller ublandede, thi hver enkelt

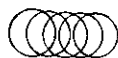


Fig. 55

Farvetone maa danne sit runde Solbillede, og hele Spektret fremkommer paa den Maade, at alle de runde enkeltfarvede Billeder lægges ved Siden af hinanden og delvis dække hinanden (Fig. 55).

45. Det rene Spektrum. For at danne et Solspektrum, hvori de enkelte Farvebilleder ikke gribe ind i hinanden, gaar man frem paa følgende Maade. Man bruger for det første i Skodden en smal lodret Spalte i Stedet for et Hul; i nogen Afstand fra denne stilles en Linse, saaledes at der

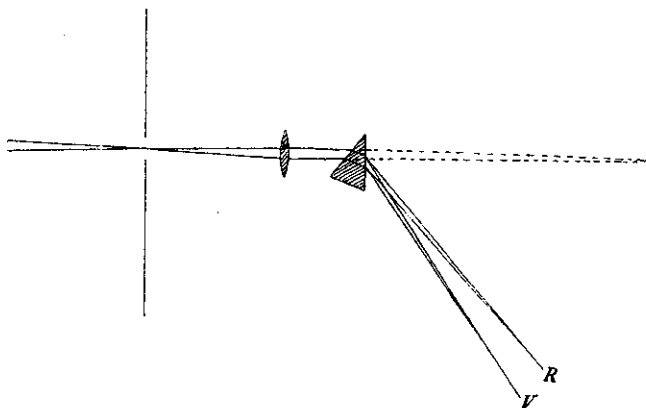


Fig. 56.

dannes et forstørret og skarpt Billede af Spalten i passende Afstand. Efter Linsen anbringes der et Prisme med Kanten lodret, og derved bringes Straalerne til at afvige, de røde mindst og de violette mest, saaledes at der dannes en Række farvede Billeder af Spalten. Disse blive nøjagtigst, naar Prismet er i sin Hovedstilling, og naar Spalten tillige er tilstrækkelig snever, ville Billederne ikke gribe synderligt ind over hverandre. Opfanges Billederne paa en Skærm, faar man et Spektrum, hvori Farverne ere ublandede eller rene.

46. Spektroskopet er det bedste Redskab til at undersøge Lysets enkelte Bestanddele. Lyset trænger igennem en smal Spalte ind i et Rør, Kollimatoren, som i den anden

Ende har en Linse, hvis Afstand fra Spalten er lig Brændvidden. Derved blive Straalerne fra et enkelt Punkt af

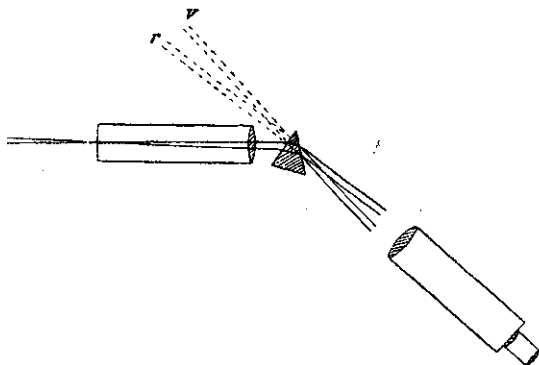


Fig. 57.

Spalten gjorte parallelle og træffe derpaa et Prisme i Hovedstillingen. I dette brydes de og adskilles saaledes, at hver Farve vedbliver at danne et Bundt parallelle Straaler. Vi kunne ogsaa udtrykke det paa den Maade, at der dannes et indbildt Spektrum *uv* uendelig langt borte, og dette ser man saa paa gennem en Kikkert. Ofte bruges flere Prismer i Spektroskopet for at opnaa en større Spredning af Farverne (Fig. 58).

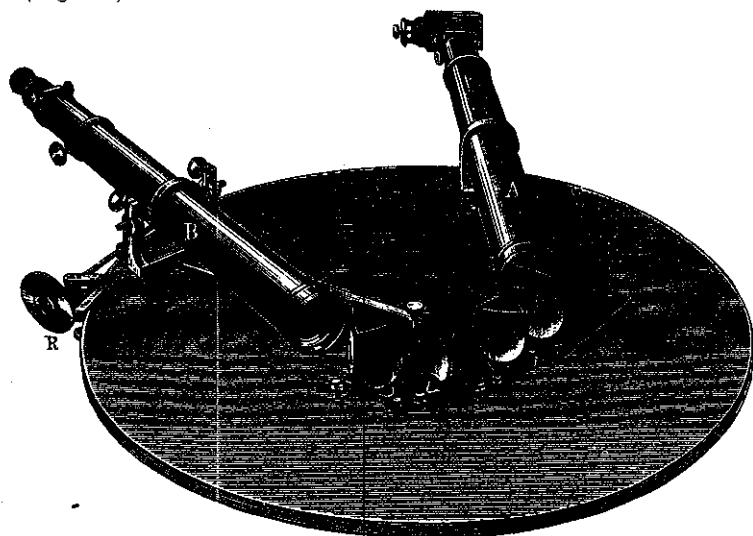


Fig. 58.

47. De Fraunhoferske Linier. Farverne i Spektret følge efter hinanden med jævne Overgange, men det viser sig, at der hist og her mangler bestemte Farvetoner, idet Spektret er gennemtrukket med mørke Linier, de Fraunhoferske Linier. Disses Antal forøges, naar man gør Spalten meget fin og bruger en stærk Farvespredning og Forstørring, forudsat at Lyset er stærkt nok til at taale dette. Hver enkelt Linie ligger paa hele sin Udstrækning mellem de samme Farvetoner og angiver derfor netop Manglen af Straaler med en bestemt Brydbarhed og af bestemt Farve. Nogle af de Fraunhoferske Linier ere let kendelige igen, naar man har set dem

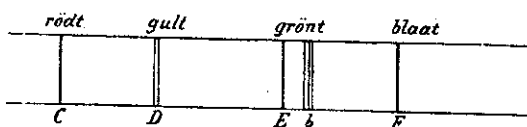


Fig. 59.

et Par Gange; de betegnes ved Bogstaver. Hosstaaende Figur viser nogle faa af de mest fremtrædende Linier i Spektret.

Naar man vil tale om en bestemt Farvetone, da er det bekvemmest at nævne en enkelt Fraunhofersk Linie, og man har derfor ogsaa maalt Brydningsforholdet for Linierne eller rettere sagt for det Lys, som egentlig skulde være der, hvor Linierne ere.

48. Prismerne. Til at danne Spektret kan man bruge Prismar af forskelligt Stof, f. Eks. Kronglas eller Flintglas. Hvis den brydende Vinkel er ens stor, saa blive Spektreterne dog ikke ens, skønt Farverne ligge i samme Orden. Flintglasset viser sig at have en meget større Farveadspreddningsevne end Kronglasset, det vil sige, at det første giver en større Forskel paa de røde og de violette Straalers Afgivelse, saa at hele Spektret bliver længere, og de Fraunhoferske Linier altsaa mere kendelige; til Forsøg over Farverne foretrækkes derfor altid Prismar af Flintglas. Man bruger ogsaa Hulprismar, fyldte med en eller anden Vædske, især Svovlkulstof, der har endnu større Evne til at sprede Farverne end Flintglas. Vand spreder derimod Farverne overordentlig lidt.

Hvad man end laver Prismerne af, saa komme de Frauenhoferske Linier igen i de samme Farver, men derimod er der ingen Art af Lighedannethed i Spektrer, som fremkaldes af forskellige Stoffer. Nogle Stoffer kunne f. Eks. sprede det røde Lys forholdsvis meget, andre det grønne o. s. v.

Dette Forhold, som tidligere er benyttet til at lave akromatiske Linser, kan ogsaa bruges til at danne ligesigtende Prismer af Kronglas og Flintglas, og disse ere meget bekvemme at bruge i mange Tilfælde, særlig i Spektroskoper. Sætter man to Prismer af de forskellige Glassorter sammen, med den brydende Kant modsat Vej, saa ville alle Straaler afvige paa modsat Led igennem Prismerne. Ved et passende Valg af de brydende Vinkler kan man opnaa, at f. Eks. det grønne Lys gaar igennem uden Afvigelse til nogen af Siderne, medens det røde Lys ligger til den ene Side og det blaa til den anden. Ved at bruge flere Prismer kan man opnaa en større Farveadspredning. Hosstaaende Figur viser et saa-



Fig. 60.

kaldet Lommespektroskop med et ligesigtende Prisme; der er ingen Kikkert, men man ser direkte gennem Aabningen *g*.

Professor Christiansen i København opdagede i 1870, at der gives Stoffer, som bryde Farverne i en anden Orden end den sædvanlige. Det blev først iagttaget ved en Fuchsinopløsning men er ogsaa Tilfældet ved adskillige andre Ting, f. Eks. en Opløsning af overmangansurt Kali.

49. Homogene Farver og Blandingsfarver. Vi kunne ogsaa danne et Spektrum paa en Skærm paa en noget anden Maade, end vi gjorde i § 45. Vi kunne nemlig lade Lyset fra Spalten træffe Prismet først; efter Brydningen gennem dette have vi et indbildt Spektrum *rv*, og af dette kan Linsen danne et virkeligt Billede *RV*. Hvis vi nu have gjort Afstanden fra Prismet til Linsen større end den sidstes Brændvidde, saa vil der ogsaa længere borte dannes et Billede, *P*,

af det Sted paa Prismet, hvor Straalerne gaa igennem. Da altsaa alle de Farvestraaler, som udgaa fra Prismet, samles i

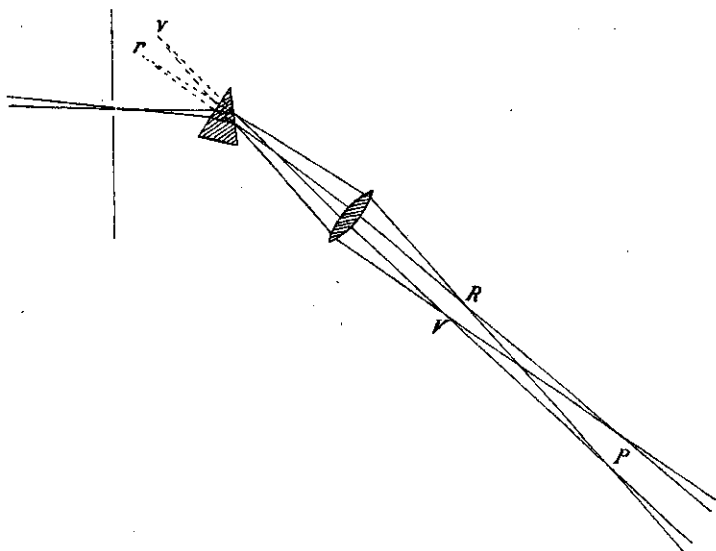


Fig. 61.

Billedet P , vil dette ses som en hvid Plet paa en Skærm, der holdes paa det rette Sted. Derimod se vi ved RV et sædvanligt, men temlig lille, Spektrum, hvis vi holde en anden Skærm paa det Sted. Bore vi et Hul i den sidst nævnte Skærm, kommer Pletten P bagved frem igen men ses nu med den Farve, som traf Hullet.

Alle de rene Spektralfarver ere homogene, det vil sige, de kunne ikke ved Brydning eller paa anden bekendt Maade adskilles i uensartede Dele. Man kan overbevise sig om det ved at anbringe et nyt Prisme bag ved Hullet paa Skærmen i det sidst omtalte Forsøg. Derved vil Pletten P nok komme til afvige til Siden men ikke forandre Farve. I Modsætning til homogene Farver taler man om Blandingsfarver, som man f. Eks. kan faa ved at bore to Huller i Skærmen ved RV . De to Farvearter, som gaa igennem, samles da i P , og denne viser sig for os med Blandingsfarven

af de to. I Reglen kan vort Øje i en Farveblanding ikke opfatte, hvilke enkelte Farver der have fremkaldt Blandingen.

Dersom vi tage Skærmen ved *RV* helt bort og i Stedet for den holde et ganske smalt Prisme derhen, saa vil dette faa en bestemt Farveart til at afvige til Siden, medens de øvrige Farver stadig forenes i *P*. Vi se derfor paa den bagerste Skærm to farvede Pletter, som ere komplementære, det vil sige, Farverne ere af en saadan Beskaffenhed, at de tilsammen kunne give hvidt Lys. Rødt er komplementært til blaagrønt, gult til indigoblaat, grønt til en Purpurfarve, der i sit Udseende minder baade om rødt og violet.

Denne Farve kan virkelig ogsaa fremkomme ved Forening af rødt og violet, og naar denne Overgang regnes med, saa danne altsaa Farverne en i sig selv tilbageløbende Række. Der dannes heller ikke andre Farver ved nogen Forening af Spektrets forskellige Dele. Men det maa erindres, at der er fuldkommen jævne Overgange hele Vejen fra rødt gennem rød-gult til gult o. s. v. Tegner man en Cirkel og skriver de fem Farver, rødt, gult, grønt, blaåt, violet op paa Periferien, i lige store Afstande fra hinanden, og i Mellemrummene Overgangsfarverne, rød-gult, gulgrønt, grøn-blaåt, blaaviolet, violetrødt (purpur), saa ville to diametrale Farver omtrent være komplementære.

Forener man to Farver, som ere nær ved at være komplementære, faas en meget lys Farve, der ogsaa kan dannes ved at tilsætte en Spektralfarve med hvidt Lys. Ligeledes kan enhver Spektralfarve faas i mørke Afskygninger, og frembyde Overgange lige til sort. Spektret kan f. Eks. opfanges paa sort Papir.

Til Forsøg over Farveblandinger anvendes ofte roterende Farveskiver. Er der f. Eks. paa en saadan malet Sektorer af rødt og grønt, ses Skiven under Rotationen ensformig lysende med Blandingsfarven af de to. Ere Sektorerne røde og sorte, bliver Skiven brun; grønt og sort giver olivengrønt o. s. v. Man kan ved passende Valg af een Spektralfarve og sort og hvidt frembringe enhver som helst af de Farve-afskygninger, vi kende.

50. Forskellige Spektrer. a. Kontinuerlige Spektrer.

Naar en svagt glødende Platintraad betragtes gennem et Spektroskop, ser man, at den kun udsender røde Straaler. Ved forøget Opvarmning udsender den Straaler af større og større Brydbarhed, indtil den i hvidglødende Tilstand giver et kontinuerligt Spektrum med alle Farver uden Afbrydelse. Det samme er Tilfældet med alle faste og flydende Legemer, som bringes til at gløde. Nogle Stoffer, som f. Eks. mange Salte, holde sig dog i den stærke Varme klare og gennemsigtige og udstraale meget lidt Lys. En Gasflamme eller et Stearinlys lyser paa Grund af glødende Kuldele i Flammen og giver derfor et kontinuerligt Spektrum, som dog mangler de violette Straaler. Smukkest ses det kontinuerlige Spektrum ved det elektriske Lys eller Drummonds Kalklys eller Magniumslys; navnlig det sidste er meget rigt paa de mest brydbare Straaler.



Fig. 62.



Fig. 63.

b. Liniespektrer. Ganske anderledes forholder det sig med Luftarter eller Dampe, som bringes til at lyse. For Luftarternes Vedkommende opnaar man dette ved at indelukke en ringe Mængde af Luften i et Geisslersk Rør som hosstaaende, saaledes at Trykket der inde er meget svagt. Sendes elektriske Gnister gennem Røret, bringes Luften til at lyse, stærkest i den smalle Del af Røret. Metaller kan man bringe til at fordampe og lyse enten ved at lade stærke elektriske Gnister springe over mellem to Spidser af det Metal, man undersøger, eller ved at lade svagere Gnister springe over mellem en Platinspid og en Opløsning af Metalsaltet (Fig. 63). Endelig kunne nogle faa Metaller bringes i Dampform, naar lidt af deres Salte paa et lille Platinøje bringes ind i en varm Gasflamme, som ikke i sig selv er lysende.

Ser man gennem et Spektroskop paa en lysende Luftart eller Damp, faar man et Liniespektrum, det vil sige enkelte spredte, farvede Linier uden Sammenhæng.

Er det Damp af Natrium, ses kun en eneste gul Linie, som dog i gode Spektroskoper lader sig spalte i to, tæt ved hinanden. En Flamme, som er farvet gul med et Natriumsalt udsender saaledes næsten homogent Lys; dette er stærkest, naar man bruger Bromnatrium.

Har man i en Flamme bragt lidt Litiumsalt til at fordampe, ses en enkelt rød Linie, men i den stærkere Varme, som frembringes ved elektriske Gnister, giver Litiumopløsningen foruden den røde Linie en rødgul.

Kalium giver en rød Linie, forskellig fra Litiumlinien; desuden viser en Del af hele Spektret sig kontinuert, men svagt.

Magnium giver 3 grønne Linier, ganske tæt ved hinanden.

Et Kalksalt, f. Eks. Clorcalcium, viser ved Fordampning i Gasflammen to temlig brede Striber, nemlig en rød og en grøn.

Brint, som bringes til at lyse i et Geislersk Rør, giver let 3 Linier, en rød, en blaagrøn og en mørkere blaa.

Det er sjældent, at Spektreterne ere saa simple. For Jærnets Vedkommende kan der i gode Spektroskoper ses indtil 1000 Linier, adskilte fra hinanden.

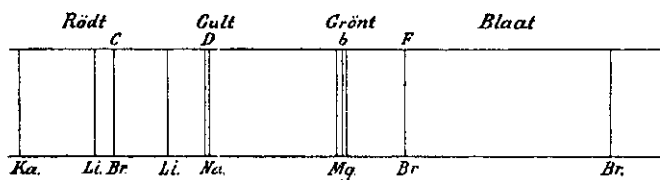


Fig. 64.

c. Absorptionsspektreter. Hvis vi rette et Spektroskop paa en elektrisk Lampe eller en Drummondsk Lampe, men imellem denne og Spalten sætte en Flamme, som er farvet gul med kulsurt Natron, saaledes at det stærke Lys fra Lampen maa gaa igennem Flammen, da se vi i det sammenhængende Spektrum en mørk Dobbeltlinie netop paa det Sted, hvor Natriumflammen alene giver sin gule Dobbeltlinie. Den glødende Damp indsuger saaledes netop

det Lys, som den selv udsender. Linien er ikke absolut sort, idet Natriumflammen jo vedbliver at udsende sit eget gule Lys, den ses kun mørk i Forhold til Nabolys, der er meget stærkere. Derfor er det ogsaa nødvendigt til Forsøget, at den faste Lysgiver bagved maa være meget kraftig. Hvad der er sagt om Natriumflammen, gælder ogsaa om andre lysende Dampe og Luftarter, de indsuge bestandig Lysstraaler af den Art, som de selv udsende. Man kan altsaa ved dem forandre et kontinuerligt Spektrum til et Absorptionspektrum, saafremt det første blot er saa stærkt lysende, at Dampenes egne Spektrallinier synes mørke i Forhold til Omgivelserne. Solspektret er et Absorptionsspektrum, og de Frauenhoferske Linier ere sandsynligvis frembragte ved Indsugning af lysende Straaler i Solens Atmosfære eller til Dels i Jordens

Til at gøre ovennævnte Forsøg med Natriumlinien kan man ikke bruge Sollys, fordi Solspektret i Forvejen indeholder den mørke Dobbeltlinie *D*, som netop ligger lige paa det Sted, hvor Natriumlinien falder. Derimod kan man gøre Forsøget med Sollys og Litium, idet Solspektret ikke indeholder nogen Frauenhoferske Linie paa det Sted, hvor en Litiumflamme giver sin røde Spektrallinie. Ser man altsaa gennem et Spektroskop paa Solens røde Straaler og bringer en Litiumflamme foran Spalten, dukker der straks en mørk Linie frem i det røde.

En anden simpel Maade at gøre Forsøget paa er at stille to Natriumflammer op, den ene bag ved den anden. Den bagerste skal være stor og meget kraftig lysende, ved Hjælp af Bromnatrium, den forreste mindre og svagere. Denne vil da ved Randen synes mørk oven paa den større Flamme.

51. Spektralanalysens Anvendelse. Undersøgelsen af de forskellige Spektrer have ført til meget vigtige Anvendelser og Resultater.

Metaldampenes Linienspektrer anvendes til at paavise Tilstedeværelsen af Metaller i mange Ting. I det Øjemed maa man først gøre sig bekendt med Spektrernes Udseende, saaledes som det tidligere er nævnt for enkelte Stoffers Vedkommende. Bringes man nu f. Eks. Tobaksaske, befugtet

med Saltsyre, paa et Platinøje ind i en varm, men ikke lysende Gasflamme, ser man let, at Asken indeholder Natrium, Litium, Kalium og Calcium. Man kan saaledes i et Øjeblik opdage Metallerne og tilmed i yderst ringe Mængde. Navnlig er det utroligt, hvor ringe en Mængde Natrium der giver sig til Kende paa denne Maade; har man en fuldstændig ren Platintraad, som ved Glødning i Flammen slet ikke meddeler denne nogen Farve, behøver man bare at røre ved den med Fingeren, for at den kan farve Flammen gul paa Grund af Natrium. Natrium og Litium vise sig at være meget udbredte i Naturen, men det sidste findes i Reglen i meget smaa Mængder. Man har ved spektrale Undersøgelser af visse mineralske Bestanddele opdaget flere nye Grundstoffer, idet der viste sig Linier, som ikke svarede til noget bekendt Stof. Man har ogsaa benyttet Metoden til Paavisning af Forfalskninger.

Ogsaa Absorptionsspektrer have faaet Anvendelse i visse Tilfælde. Blod giver, endog i fortyndet Tilstand, en bestemt kendelig Absorption, saa at et kontinuerligt Lys, set gennem en Opløsning af Blod, viser bestemte Absorptionsstriber; man har derved kunnet konstatere Pletter af Blod paa Tøj.

Særlig Betydning har Spektralanalysen faaet i Astrofysiken, det er Læren om Himmellegemernes Beskaffenhed. Det ligger nær at antage, at de Frauenhoferske Linier i Solspektret skyldes Absorption i en Atmosfære, medens Solens Kærne udsender kontinuerligt Lys. En Del af Linierne hidrøre fra Indsugning i Jordens Atmosfære, men den største Del skyldes dog alligevel Solen. For nu at se, hvilke Stoffer Solens Atmosfære eller Fotosfære indeholder i Dampform, kan man dække den øverste Halvdel af Spektroskopets Spalte med et lille Prisme og rette Spektroskopet mod Solen, som saa sender Lys ind gennem den utildækkede Del af Spalten; ved Brydning gennem Prismet sender man fra en Flamme eller elektrisk Gnist ved Siden af Lys ind i Spaltens anden Halvdel. Man ser da i Spektroskopet dels et Spektrum af Solen og dels et af det Stof, man lader for-

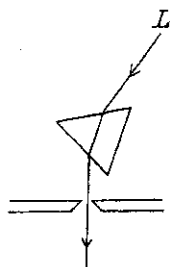


Fig. 65.

dampe. Er der f. Eks. Natrium i Flammen eller Gnisten, ser man den gule Dobbeltlinie i nøjagtig Forlængelse af Solens *D* Linie og slutter deraf, at Solens Atmosfære indeholder Natrium. Prøver man med Magnium, ser man dette Stofs grønne tredobbelte Linie falde i Forlængelse af den sorte *b* Linie. Af Brintens tre Linier falde de to sammen med *C* og *F*, den tredje ligger tæt ved *G* Linien. (Se Fig. 64). Man har paa denne Maade fundet mange Stoffer i Solen foruden de nævnte, f. Eks. Calcium og Jærn; derimod ikke Litium. Det er nu ganske vist muligt, at de Frauenhoferske Linier kunne hidrøre fra en anden Aarsag end Absorption; men naar det iagttages, at over 400 Jærnlinier falde i Forlængelse af sorte Linier i Solens Spektrum, saa er det ikke let muligt at tænke sig andet, end at disse virkelig paa en eller anden Maade hidrøre fra Jærn oppe paa Solen.

Det har ogsaa været muligt at undersøge Enkeltheder paa Solen, f. Eks. Pletterne. Der dannes da først ved et godt Kikkertobjektiv et Billede af Solen, og paa et bestemt Sted af dette kan man anbringe Spektroskopets Spalte, som saaledes kun modtager Lys fra et enkelt Sted af Solen. Paa denne Maade har det vist sig, at Pletterne ikke ere helt mørke men blot give en stærkere Absorption, saa man antager dem for en Slags Skyer, det vil sige Fortætninger, væsentlig af Magniumdampe og Jærndampe. Under totale Solformørkelser kan man i Kikkerter se Solen omgivet af et rødt Lag, Kromosfæren, fra hvilken der skyder høje, røde Flammer i Vejret, de saakaldte Protuberanser. Disse kunne ved særegne Kikkertspektroskoper iagttages til enhver Tid og give et Liniespektrum, der blandt andet indeholder Brintens røde og blaagrønne Linie samt en gul Linie paa et Sted, der ikke falder sammen med nogen Linie fra bekendte Stoffer. De saakaldte Fakler paa Solens Skive ere rimeligvis ogsaa Protuberanser.

Fiksstjernerne kunne undersøges paa lignende Maade ved et Kikkertspektroskop. Det viser sig, at de give Absorptionsspektrer; de ere altsaa Kloder af samme Art som Solen, men de mørke Linier vise, at deres kemiske Sammensætning afviger mere eller mindre fra Solens.

Planeterne og Maanen give samme Spektrum som Solen, da de jo sende os tilbagekastet Sollys.

Kometerne give væsentlig et Liniespektrum, som tyder paa Kulbrinteforbindelser; undertiden viser Hovedets Kærne et Spektrum, som tyder paa faste Stoffer.

Stjernehohe give Absorptionsspektrer. Stjernetaager enten det samme eller Liniespektrer; i første Tilfælde maa man antage, at det egentlig er Stjernehohe, man har at gøre med, blot saa langt borte, at ingen Kikkert kan vise de enkelte Stjerner. Giv Taagerne Liniespektrer, ere de virkelig dampformede; de bestaa væsentlig af Kvælstof og Brint.

52. Regnbuen. I Fig. 66 er D en Regndraabe, som træffes af en Solstraale S . En Del af Straalen vil blive tilbagekastet fra Overfladen, medens en anden Del vil trænge ind i Draaben, hvor den igen delvis vil blive tilbagekastet fra Draabens Bagside. En lille Del af Lysstraalen vil saaledes til sidst blive tilbagekastet og brudt i Retningen A . Naar nu Draaben træffes af et helt Lysbunt (Fig. 67), kan man bevise, at de fra Bagvæggen tilbagekastede Straaler ville spredes inden for en Kegleflade BDA , ved hvis Grænse Straalerne ligge saa tæt ved hinanden, at de i særlig Grad kunne gøre Indtryk paa Øjet θ . Keglens halve Toppunktsvinkel SDA er $42\frac{1}{2}^\circ$ for de røde Straaler, $40\frac{1}{2}^\circ$ for de violette. Ved Tilbagekastningen vil Draaben derfor adskille Lyset i sine Farver.

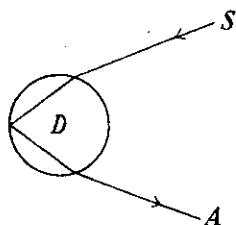


Fig. 66.

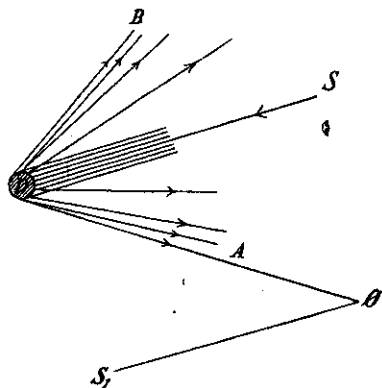


Fig. 67.

Vi kunne nu forklare, hvorledes Regnbuen dannes, naar Solen skinner i Regnvejr. Stille vi os med Solen i

Ryggen, og vort Øje er i $\emptyset$ (Fig. 67), vil S_1 kunne betegne det Sted under Horizonen, som er lige modsat Solen. Øjet modtager da rødt Lys fra alle de Regndraaber D , for hvilke $\angle D\emptyset S_1$ er $= 42\frac{1}{2}^\circ$. Vi se derfor en rød Cirkelbue rr_1 (Fig. 68) med S_1 til Centrum og en Radius paa $42\frac{1}{2}^\circ$. Paa

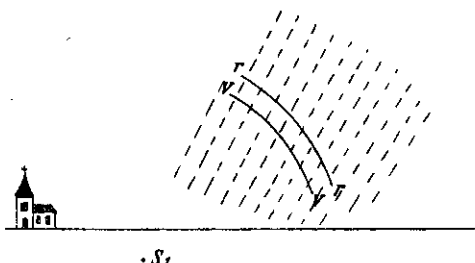


Fig. 68.

samme Maade viser der sig en violet Bue med Radius $40\frac{1}{2}^\circ$. Derimellem ligge alle de øvrige Farver, men de blive ikke rent spektrale, da de gribe over i hinanden, fordi enhver Farve giver en Bue af samme Bredde som Solen, nemlig $\frac{1}{2}^\circ$.

Ofte ses endnu en Regnbue uden om den forrige, men med Farverne i omvendt Orden og svagere. Den dannes paa lignende Maade men ved en dobbelt Tilbagekastning inde i Draaben.

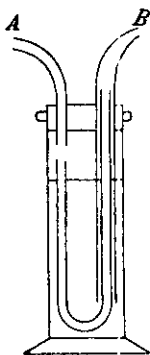


Fig. 69.

Der behøves ikke store Vandmængder for at give en Regnbue; Skummet fra et Dampskibshjul eller Bruset fra en Vandkande kan være tilstrækkeligt. Meget smukt ses Regnbuen ved Hjælp af følgende Apparat, der bestaar af et Cylinderglas med Prop, gennem hvilken der gaar Glasrør, som Figuren viser. I det ene er der indsat den ene Gren af et smallere, bøjet Rør, hvis frie Ende naar over Vandet. Stiller man sig med Ryggen mod Solen og blæser ind gennem A , staar der en hel Regn ud ad B , og i denne ses Regnbuen,

dersom Baggrunden ikke er for lys.

Ligeledes kan man i et mørkt Kammer fremkalde en Regnbue ved at lade et Bundt Solstraaler træffe en Glaskolbe,

fyldt med Vand. De tilbagekastede Straaler kunne danne en Regnbue paa en hvid Skærm.

Lysstraalernes Gennemgang gennem Legemerne, Tilbagekastning og Indsugning.

53. Gennemgangen gennem Legemer. Hvis vi danne et Solspektrum paa en hvid Skærm og holde en Plade af et eller andet Legeme foran Spalten i Vindusskodden, kunne vi se, om der indtræder nogen Forandring i Spektret. Vi bemærke paa denne Maade, at alle farveløse, klare Legemer, som Glas, Alun, Stensalt, Vand lade alle Lysstraalerne gaa igennem sig uden at svække dem synderligt. Tabet af Lys hidrører væsentlig fra Tilbagekastning ved Overfladerne, idet det viser sig, at det gennemgaaede Lys omtrent er ens stærkt ved tynde og tykke Plader. Er Tykkelsen meget betydelig, forandres Forholdet dog noget, som man f. Eks. ser ved Havvand, der i store Dybder synes grønt, skønt det belyses af hvidt Dagslys.

Farvede Legemer lade derimod kun en Del af Spektrets Straaler gaa igennem sig. Holder man foran Spalten et Stykke rødt Glas (farvet med Kobber), saa forsvinder Spektret paa det røde nær. Den mørkeblaa Opløsning af Kobberilteammoniak bringer Spektret til at forsvinde med Undtagelse af det blaa og noget af det grønne. Et Stykke blaat Kobaltglas (blaa Sukkerskaal) lader det blaa og grønne Lys gaa igennem tilige med noget isoleret rødt. Falder der altsaa hvidt Lys paa disse Legemer, tilbageholdes nogle af Straalerne, og det gennemgaaede Lys har Blandingsfarven af de øvrige. Lys, som er gaaet igennem et farvet Legeme, er aldrig homogent; foruden den Spektralfarve, som svarer til Legemets Farve, gaa i Reglen Nabostraalerne igennem, ofte endda flere. Det omtalte røde Glas lader dog kun rødt Lys gaa igennem.

54. Tilbagekastning. Vi have tidligere talt om Forskellen mellem regelmæssig og spredt Tilbagekastning. Ved den

første forandres Straalernes Sammensætning ikke, saa at hvidt Lys tilbagekastes som hvidt. Anderledes er det med den spredte Tilbagekastning. Danner man et Spektrum og opfanger det paa en Stang rødt Lak eller en Flade, som er malet med Zinnober, ser man kun den røde Del af Spektret. Alle farvede Ting ville paa lignende Maade kun tilbagekaste nogle af Spektrets Farvestraaler, ofte dog temlig mange af dem. Hvis de belyses af hvidt Lys, ses de derfor med Blandingsfarven af alle de tilbagekastede Straaler. Man kender intet Legeme, som kun tilbagekaster en enkelt Art af Farvestraaler. Legemernes Farve er derfor aldrig homogen; foruden Hovedfarven indeholder det tilbagekastede Lys gerne Nabofarverne og ofte flere end disse. Legemernes Farve i tilbagekastet Lys er i Reglen den samme, som det gennemgaaede Lys har, rimeligvis som Følge af, at Tilbagekastningen ikke alene finder Sted ved selve Overfladen men ogsaa lidt dybere, idet Straalerne trænge lidt ind i Legemet.

Absolut sorte Legemer ville ikke tilbagekaste noget spredt Lys, men hvide Legemer derimod alle Farver i samme Forhold.

55. Indsugning eller Absorption. De Straaler, som gaa igennem et Legeme, og de, som tilbagekastes fra det, udgøre i Reglen kun en Del af dem, der falde paa Legemet. De manglende, siger man indsuges eller absorberes. Farvede Glas indsuge f. Eks. en betydelig Del. Uigennemsigtige og sorte Legemer indsuge Størstedelen af alle Lysstraalerne, især naar Legemet har en ru Overflade, saa den regelmæssige Tilbagekastning er ringe.

Der findes rimeligvis intet Legeme, som slet ingen Straaler indsuger af dem, der falde paa det. Det er allerede nævnt, at Vand i store Dybder synes grønligt, og selv Luften indsuger visse Farvestraaler, hvad der især er kendeligt, naar Solen ved sin Nedgang ses rødlig gennem Atmosfæren og Vanddampene. Betragtes Solen gennem et Spektroskop ved Aftentide, ses der ikke saa faa mørke Linier flere, end naar Solen staar højt paa Himlen, og selv om Luften er ganske klar, hidrøre nogle af de Fraenhoferske Linier, som iagttages i Solspektret, fra at enkelte Farvestraaler indsuges i Atmosfæren.

56. Fluorescens. Nogle Legemer have den Egenskab, at de kunne forandre Lysstraaler af een bestemt Farve, saaledes at de tilbagekastes spredt som Straaler af andre Farver. Man kalder saadanne Legemer fluorescerende. Lad os f. Eks. tage en Opløsning af svovlsur Kinin i et Glaskar med parallelle Vægge, og holde den foran en Skærm, paa hvilken der er dannet et Solspektrum. Vi se da, at den blaa og violette Del forsvinder paa Skærmen, medens det øvrige omtrent bliver uforandret. Betragte vi Kininopløsningen forfra, se vi intet videre der, hvor de røde, gule og grønne Straaler gaa igennem, men der, hvor de mest brydbare Straaler træffe Opløsningen, se vi denne udstraale et smukt blaat Lys. Man siger, at de mest brydbare Straaler absorberes men omdannes af Legemet og udsendes igen som Lys af anden Farve. Ved paa ny at betragte det blaa Fluorescenslys gennem et Prisme ser man, at det ikke er homogent, men hver enkelt af de indfaldende Straaler er omdannet til flere, som alle have faaet en mindre Brydbarhed. Det blaa Fluorescenslys kan ses et Stykke længere ud, end Spektret ellers viser sig paa Skærmen, hvoraf man altsaa kan slutte, at Solen udsender Straaler af større Brydbarhed end de violette, men disse Straaler ville under almindelige Forhold ikke gøre Indtryk paa vore Sanser.

Fluorescensen er let synlig i fuldt Sollys. Lader man dette falde paa Kininopløsningen, ser man den skinne med blaat Lys paa den Side, hvor Sollyset falder ind. Stærkere bliver Lyset, hvis man samler Straalerne ved en Linse, saa at der trænger en Lyskegle ind i Vædsken. Da Fluorescensen fremkaldes af de mest brydbare Straaler, bliver den lige saa stærk, naar man først lader Sollyset gaa igennem et blaa-violet Glas; derved blive Omgivelserne mindre lyse, saa Fluorescensen er mere paafaldende.

Mange andre Stoffer kunne fluorescere. Petroleum ses f. Eks. ofte med et blaat Skær. Kaster man et Stykke frisk Bark af et ungt Skud af Hestekastanien i et Glas Vand og stiller dette i Sollyset, helst i et formørket Værelse, ser man i tilbagekastet Lys smukke blaa Skyer sive ud fra Barken; denne indeholder nemlig et Stof, som fluorescerer stærkt i

Opløsning. Hælder man Spiritus eller Æter paa friske grønne Blade, faar man en Vædske, som er stærkt grøn i gennemgaaet Lys men i tilbagekastet fluorescerer rødt. Belyses den af Solstraaler, som samles ved en Linse, ser den ud som Blod. Falder der et Spektrum paa denne Vædske, kan det atter vises, at Fluorescensen indtræder der, hvor Straalerne ikke gaa igennem, og dette er Tilfældet paa flere Steder i Spektret. Det stærkest fluorescerende Stof er en Opløsning af Fluoresceinnatrium; den skinner stærkt grøn, selv i meget fortyndet Tilstand.

Ogsaa faste Legemer kunne fluorescere. Navnet hidrører fra visse Arter af Flusspat, der have denne Egenskab. Glas, som er farvet svagt gulgrønt ved Uranforbindelser, fluorescerer stærkt grønt. Skriver man med en stærk Opløsning af svovlsur Kinin paa Papir og lader det tørre igen, bliver Skriften synlig paa en pragtfuld Maade, dersom man i et mørkt Kammer lader det beskinne af Sollys, som er gaaet igennem et mørkt violet Glas. Opfanger man et Solspektrum paa et Stykke Papir, som er smurt over med Kininopløsningen, ser man meget tydeligt, hvilke Straaler der fremkalde Fluorescensen.

Da det særlig er de mest brydbare Straaler, som fremkalde dette Fænomen, er det forstaaeligt, at det let ses ved elektrisk Lys eller Magniumlys, som netop ere rige paa de Straaler. I meget luftfortyndede Rum, hvor man lader Elektriciteten gaa igennem, fluorescere næsten alle Ting, men ikke ens stærkt.

57. Fosforescens. Nogle Legemer have den Egenskab, at de kunne indsuge Straaler og i nogen Tid bevare Evnen til atter at udsende dem som Lysstraaler, saa de ligefrem blive selvlysende nogen Tid, efter at de have været udsatte for Lyset fra Solen eller andre Lysgivere, som ere rige paa de mest brydbare Straaler. Man kalder dette Fosforescens. De bedste Legemer i denne Henseende ere Svovlforbindelserne af Calcium, Baryum eller Strontium; dog synes Fosforescensen at være betinget af, at disse Stoffer indeholde smaa Mængder af fremmede Dele. Det er saadanne Stoffer, som anvendes til den bekendte hvide Farve

paa selvlysende Æsker og lignende. Ogsaa Diamanter kunne fosforescere i nogen Tid.

Opgaver.

50. Konstruer Straalernes Gang helt igennem et Spektroskop.

51. Et Stykke sort og et Stykke hvidt Papir ere klistrede sammen og betragtes gennem et Prisme, hvis Kant er parallel med Grænselinien mellem det hvide og sorte. Hvorledes ser denne ud?

Res. Sort, rød, gul, hvid, hvis Prismets Kant vender i Retning ad det hvide, men hvid, grøn, violet, sort, hvis Kanten gaar den anden Vej.

52. Hvorledes maa en hvid Firkant paa sort Grund eller en sort paa hvid Grund tage sig ud gennem et Prisme. Betragt Vinduerne.

53. Hvorfor er det ofte vanskeligt ved Gaslys at kende Forskel paa grønt og blaat? Er det lettere ved elektrisk Lys eller Magniumlys?

54. Hvorfor ser hvidt og gult undertiden ens ud ved Gaslys?

55. Hvorledes kan det forklares, at blaa Anemoner og Violer om Aftenen ved Lys blive røde?

56. Hvorledes maa en Stang Lak se ud, dersom den belyses af en Natriumflamme?

57. Hvorfor se vi ud som døde i den samme Belysning?

58. Hvorledes ser Flammen selv ud gennem et rødt eller blaat Glas?

59. Prøv at se paa en Buket stærkt farvede Blomster gennem farvede Glas.

60. Hvorledes ser et Stykke hvidt Papir ud, hvis vi betragte det gennem et rødt Glas og den blaa Kobberopløsning paa een Gang?

61. Hvis man i en Spiritusflamme lader lidt Natrium og Litium paa een Gang fordampe og betragter Flammen gennem et Prisme, hvad ser man da?

62. Naar svovlsur Kinin fluorescerer, kan man da se Fluorescensen gennem farvede Glas?

63. Kan det Lys, som er gaaet igennem en Kininopløsning, fremkalde Fluorescens paa ny?

Straalernes Varmevirkninger.

58. Lyse og mørke Varmestraaler. Det er bekendt nok, at Solstraalerne ikke blot give os Lys men ogsaa Varme, og tillige at en varm Kakkellovn sender os Varmestraaler. For nærmere at undersøge dette Forhold begynde vi med Solstraalerne og danne paa sædvanlig Maade et Spektrum, som vi lade falde paa en smal Termosøjle; idet denne opvarmes, fremkommer der et Udslag paa den tilhørende Multiplikator, og af Udslagets Størrelse kan Opvarmningen bedømmes. Det viser sig saaledes, at Varmevirkningen er forsvindende i den violette Del af Spektret men vokser hen imod den mindre brydbare Del og tiltager endda lidt uden for de røde Straaler, men aftager derefter atter, naar man fjerner Termosøjlen mere fra det synlige Spektrum. De Varmestraaler, som ikke kunne frembringe Lysvirkninger med det samme, kaldes mørke eller ultrarøde Straaler, og er Termosøjlen smal nok, kan der i det ultrarøde Spektrum paavises Fraunhoferske Linier, hvor Varmevirkningen ikke findes.

De mørke Varmestraaler have altsaa mindre Brydbarhed end de lyse, og det er saadanne Straaler, der udsendes fra en varm Kakkellovn eller andre lignende Ting. Enhver Genstand vil ved Opvarmning udsende Varmestraaler, efterhaanden flere og flere med større Brydbarhed, eftersom Temperaturen stiger, indtil de til sidst blive lysende, naar Legemet kommer i Glød.

Forskellige Legemer, som have samme Temperatur, udstraale dog ikke lige megen Varme, hvad der kan ses ved at

holde dem i samme Afstand fra en Termosøjle. Metalflader f. Eks. udstraale mindre Varme, naar de ere blanke, end naar de ere ru; en Jærnkakkelovn giver ogsaa stærkere Straalevarme end en glaseret Lerovn.

59. Varmestraalernes Gennemgang, Tilbagekastning og Indsugning. Naar man lader Varmestraalerne enten fra Solen eller et hvilket som helst andet varmt Legeme falde paa en Termosøjle og iagttager Udslaget, vil man finde, at dette kun forringes ganske lidt, dersom man lader Straalerne gaa igennem en Plade af Stensalt, før de træffe Termosøjlen. Og da en tyk Stensaltsplade ikke svækker Virkningen mere end en tynd, maa vi slutte, at Varmetabet finder Sted ved Tilbagekastning og ikke ved Indsugning. Stensalt er altsaa i høj Grad gennemstraaleligt for Varmen, baade den lysende og den mørke. Ved Undersøgelser over Varmespektrer bruges der derfor Prismen og Linser af Stensalt, og er Solspektret dannet paa denne Maade, viser det sig, at Varmevirkningen bliver meget stærkere i den ultrarøde Del, og naar meget længere ud, end naar man bruger Prismen og Linser af Glas.

Er Spektret nu dannet paa denne Maade, og lader man de forskellige Dele deraf falde paa Termosøjlen, kan man undersøge, hvad Virkning det har, dersom man lader Straalerne fra Spalten passere et eller andet Stof. Vi se saaledes, at alle farveløse, gennemsigtige Stoffer, som lade Lyset passere uden synderlig Svækkelse, gøre det samme ved de lysende Varmestraaler, saaledes at Varmevirkningen aldeles ikke kan adskilles fra Lysvirkningen. Hvis et Legeme tilbageholder visse Lysstraaler, forsvinder Varmevirkningen med det samme paa det Sted af Spektret. Derimod er det ikke sikkert, at de mørke Varmestraaler slippe igennem, fordi de lyse gøre det. Glas er f. Eks. ikke gennemstraaleligt for de yderste ultrarøde Straaler; endnu flere af de mørke Varmestraaler tilbageholdes af Vand og Is samt Alun, baade som Plade og i Opløsning. En Glasrude kan benyttes som Skærm mod Straalevarmen fra en Kakkelovn. Omvendt kunne uigennemsigtige Legemer godt lade de mørke Varmestraaler gaa igennem sig, hvad der f. Eks. er Tilfældet med sværtet

Stensalt eller en Opløsning af Jod i Svovlkulstof. (Denne Vædske maa behandles med Forsigtighed paa Grund af sin Giftighed og Letantændelighed.)

Varmestraaler tilbagekastes efter samme Regler som Lysstraaler, og man kan ved Termosøjlen paavise baade en regelmæssig spejlende og en spredt Tilbagekastning. Lader man Solstraaler træffe et stort Hulspejl af Metal, tilbagekastes de til Brændpunktet og frembringe der saa stærk en Varme, at et Stykke Papir let bryder i Brand. Har man to Hulspejle, vendte imod hinanden, med Akserne i samme Linie, vil et varmt Legeme i det ene Brændpunkt frembringe en stærk Opvarmning i det andet.

Den Del af Varmestraalerne, som hverken gaar igennem et Legeme eller tilbagekastes derfra, vil indsuges eller absorberes og derved opvarme Legemet. Da mørke Legemer indsuge Lysstraalerne, ville de ogsaa indsuge den Varme, der er forbunden med Lyset og ikke kan adskilles derfra. Man kan derfor iagttage en meget kendelig Forskel paa Opvarmningen af to Termometre, naar man sværter Kuglen paa det ene og udsætter begge for Sollyset; det mørke opvarmes mest. Sorte Plankeværker anvendes til Espalier, fordi de opvarmes stærkt i Solen. Tagene paa Ishuse og Slagterier males hvide for ikke at indsuge de lysende Varmestraaler. Derimod kunne lyse Legemer ofte indsuge lige saa mange af de ultrarøde Straaler, som mørke Legemer gøre.

Straalernes kemiske Virkninger.

60. Mange iagttagelser vise, at Solstraalerne kunne frembringe kemiske Forandringer. En mekanisk Blanding af Klor og Brint kan f. Eks. kun opbevares i en Flaske, naar den stilles i Mørke eller selv er mørkefarvet. I Dagslyset forbinde Luftarterne sig til Klorbrinte; i direkte Sollys sker Forbindelsen med Eksplosion. Mange farvede Tøjer falme i Lyset, idet dette bringer Luftens Ilt til at omdanne Farvestofferne; Tøjets Folder, som ikke ere udsatte for Lyset, holde Farven. Klor sølv, som er hvidt,

bliver hurtig violet i Sollyset, og der udskilles en ringe Mængde Klor. Paa saadanne kemiske Virkninger beror Fotograferingen.

De fotografiske Plader, som mest bruges nu, ere Glasplader, beklædte med en Hinde, som indeholder Gelatine (Husblas, Lim), Bromsølv og lidt Jodsølv. Et Billede af den Ting, som fotograferes, bringes ved Fotografiapparatets Linse til at falde paa Pladen, og ved Lysets Indvirkning forandres Sølvsaltene, mest paa de lyseste Steder af Billedet. Der ses imidlertid intet Billede endnu paa Pladen; det maa først fremkaldes ved Hjælp af en Opløsning af Pyrogallussyre, som har den Egenskab at reducere Sølvsaltene til metallisk mørkt Sølv paa de Steder, hvor Lyset har paavirket Pladen. Derefter fikseres Billedet ved at hælde Pladen over med svovlundersyrligt Natron, som opløser de Sølvsalte, der ikke ere paavirkede af Lyset. Man faar derved et negativt Billede, som er mørkt paa de Steder, hvor Genstanden er lys, og omvendt. Dette Billede overføres atter ved Lysets Hjælp paa et Stykke Papir, som er tilberedt med Klorsølv, og derved faas det endelige positive Billede.

For at se, hvilke Straaler der have den største kemiske Virkning, lader man en fotografisk Plade opfange Solspektret, som denne Gang dannes ved Hjælp af Prisme og Linse af Kvarts, idet man har fundet, at dette Stof er mest gennemstraaleligt for de kemisk virksomme Straaler. Fotografiet vil da vise, at den kemiske Virkning er størst i den mest brydbare Del af Spektret, og at Virkningen strækker sig langt ud over den synlige Del, saa at Solen ogsaa udsender ultraviolette Straaler. I disse ses der talrige Frauenhoferske Linier. De mindst brydbare Straaler ere i Reglen kemisk uvirksomme. Derfor kunne Fotografer arbejde med deres Plader i et Rum, som kun oplyses ved røde Straaler. Gas og Petroleumsllys indeholde kun faa af de mere brydbare Straaler og kunne derfor ikke anvendes til at belyse Genstande, som skulle fotograferes. Det er derimod let at fotografere en Stue, som oplyses ved Magniumlys, der netop er rigt paa de kemiske Straaler.

Da de kemiske Straaler ikke falde sammen med dem, der give det kraftigste Lys, saa bruges der forskellige Linsekombinationer i astronomiske Kikkerter, eftersom man ser paa Stjernerne eller fotograferer dem. I første Tilfælde er Akromatismen beregnet for de stærkest lysende Straaler, i

sidste Tilfælde for dem, der virke stærkest i kemisk Henseende.

Naar Spektret er dannet ved Kvartsprisme og Kvartslinse, kan man let gøre de ultraviolette Straaler synlige ved Hjælp af Fluorescensen. Et stærkt fluorescerende Legeme vil nemlig indsuge de ultraviolette Straaler og omdanne dem til mindre brydbare lysende Straaler. Fluorescensforsøg blive overhovedet smukkeste, naar man anvender Kvarts og undgaar Glas, som indsuger de fleste af de ultraviolette Straaler.

Straalernes kemiske Virkninger bero ligesom Varmevirkningerne paa Indsugningen i Legemerne. Man kan f. Eks. fotografere det røde og gule Lys, naar Pladerne indeholde Stoffer som indsuge dette Lys. Ligeledes er det bekendt, at Lyset har en stor Indflydelse paa Planternes Ernæring, og at Bladgrøntet spiller en vigtig Rolle i denne Henseende. Man har ved Forsøg fundet, at de Lysstraaler, som her ere de virksomste, findes i den mindst brydbare Del af det lysende Spektrum, og det viser sig, at en Opløsning af Bladgrønt netop ogsaa indsuger disse Straaler.

Straalernes Energi.

61. Straalerne virke enten umiddelbart paa vore Sanseredskaber eller ogsaa kendes de ved de Virkninger, de have paa andre Legemer. Men i begge Tilfælde er det klart, at det, som vi kalde Virkningerne, ikke blot beror paa Straalerne selv, men ogsaa paa, om Legemerne og vore Nerver ere i Stand til at lade sig paavirke. Betragt vi f. Eks. den gule Del af Spektret, saa virke disse Straaler baade paa vore Synsnerver og Følenerver, og det har ikke været muligt at skille de to Virkninger af disse Straaler fra hinanden, saaledes at f. Eks. Varmevirkningen blev tilintetgjort, medens Lyset blev ved. Derimod har man ved mangfoldige Forsøg godtgjort, at Lyset og Straalevarmen følge samme Love med

Hensyn til Tilbagekastning, Brydning, Virkningens Aftagen med Afstandens Kvadrat og meget mere. Vi maa derfor opfatte det saaledes, at der kun gives een Art Straaler af hver Brydbarhed. De mindst brydbare kunne kun kendes ved vore Følelser eller Redskaber, som tjene til at mærke Opvarmning, de mest brydbare udøve kemisk Virkning, og de mellemste kunne kendes baade ved deres Lysvirkninger og paa de andre Maader.

De Straaler, som paavirke Legemerne, ere, som det blev vist i de foregaaende Paragraffer, dem, der indsuges. Ved Opvarmning og ved mange kemiske Forandringer afsætte Straalerne Energi i Legemerne. Denne Energi maa Straalerne altsaa bringe fra det Legeme, hvorfra de udgaa. Begynder man at opvarme et Legeme, udsender det først Straaler af ringe Brydbarhed eller mørke Straaler; ved en Opvarmning til cr. 500° begynder det ogsaa at udsende røde Lysstraaler, hvorefter der ved forøget Opvarmning ogsaa udstraales Lys af større og større Brydbarhed. Man kommer saaledes til at tale om straalende Energi, og kan yderligere spørge om, hvilke Straaler, de mørke eller de lysende, der bringe den største Energi fra det ene Legeme til det andet. Naar Solstraalerne have passeret Jordens Atmosfære, har man ved Forsøg fundet, at omtrent de 40 Procent af Energien ligger i de lysende Straaler, Resten er i de mørke. For de kunstige Lyskilder, som f. Eks. Gasblus, stiller Sagen sig endnu ugunstigere for Lysstraalernes Vedkommende. For det første gaar nu den allerstørste Del (omtrent $\frac{3}{4}$) af hele den Energi, som slippes løs ved Forbrændingen, bort med de varme Forbrændingsprodukter, Kulsyre og Vanddamp. Af Resten, den ene Niendedel, er kun ganske faa Procent lysende Straaler, Resten mørke Varmestraaler. Ved det elektriske Lys undgaas de varme Forbrændingsprodukter, og al Energien afgives som straalende Energi, hvorefter omtrent 25 Procent er lysende. Elektrisk Lys giver som bekendt heller ikke den Varme som Gasblus.

Det vil af det foregaaende være indlysende, at vore nuværende Belysningsmidler ikke give nogen stor Nyttevirkning, naar vi kun tage Hensyn til Lyset.

Lysets Hastighed.

62. Den første, som bestemte Lysets Hastighed, var vor Landsmand, Ole Rømer, der udledte den af Formøkelserne af en af Jupiters Drabanter. Senere fandt Bradley en ny Maade dertil, idet han opdagede Aberrationen. Begges Fremgangsmaader ere omtalte i Astronomien, men da hverken Rømer eller Bradley kendte Jordens Afstand fra Solen med Nøjagtighed, fik de kun Lysets Hastighed i Sekundet i Forhold til den nævnte Afstand. Den absolute Hastighed blev først funden, da man i sidste Halvdel af forrige Aarhundrede fandt Jordens Afstand fra Solen, og Resultatet blev ved begge Maader cr. 40000 Mil i Sekundet.

Midt i dette Aarhundrede bestemte Fizeau Hastigheden direkte ved Maalinger mellem et Par Bygninger i Nærheden af Paris. Bygningerne laa omtrent i en Mils Afstand, og i hver af dem blev der opstillet en Kikkert, saaledes at Akserne laa i hinandens Forlængelse, og man i enhver Kikkert kunde se den andens Objektiv. Dernæst blev der i den enes Brændplan stillet et plant Spejl p vinkelret paa Aksen. Den anden

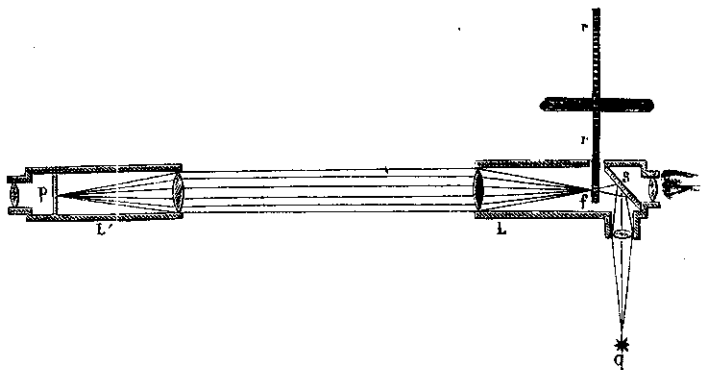


Fig. 70.

Kikkerts Rør var gennembrudt, saaledes at et Tandhjul, hvis Tænder vare lige saa brede som Mellemrummene, kunde anbringes i Brændplanen. Imellem dette og Okularet blev der anbragt et plant Glas s under Vinklen 45° , saaledes at

Lampen q gennem en Linse kunde danne et Billede, der ved Spejlet blev kastet hen i Kikkertens Brændpunkt f mellem to Tænder af Hjulet. Straalerne gik nu videre til Objektivet, hvor de bleve gjorte parallelle, traf dernæst den anden Kikkerts Objektiv, bleve brudte til dens Brændpunkt og tilbagekastede ved Spejlet, saaledes at de gik samme Vej tilbage og paa ny dannede et Billede mellem Hjulets Tænder. Dette Billede kunde nu ses som en svagt lysende Stjerne gennem Okularet. Naar Hjulet drejedes langsomt rundt, blev Stjernen borte, hver Gang en Tand kom for, men ved hurtigere Omdrejning bleve de enkelte Afbrydelser ikke kendelige, Billedet saas uafbrudt men svagere, indtil Omdrejningen blev saa hurtig, at Lyset, der gik igennem et Mellemrum, paa sin Vej tilbage netop fandt en Tand der, hvor Mellemrummet før var; Lyset var da fuldstændig forsvundet. Ved større Omdrejnings-hastighed blev Billedet atter synligt. Hvis nu Tandhjulet havde r Tænder, skulde det dreje sig $\frac{1}{2r}$ af en hel Omdrejning, for at et Mellemrum kunde ombyttes med en Tand. Gik det n Gange rundt i Sekundet, brugte det til den omtalte Bevægelse $\frac{1}{n} \cdot \frac{1}{2r}$ Sekund, og var Vejens Længde a , fik man Ligningen $2a = h \cdot \frac{1}{2nr}$, hvoraf Hastigheden h blev funden omtrent lig 40000 Mile eller $3 \cdot 10^8$ Meter. Forsøgene ere senere gentagne med stor Nøjagtighed af Cornu.

Foucault har paa en noget anden Maade udført Maalinger af samme Størrelse og fundet samme Resultat. Han bestemte tillige Hastigheden i Vand og fandt den omtrent lig $\frac{3}{4}$ af den forrige; Tallet $\frac{3}{4}$ er det omvendte af Vandets Brydningsforhold.

Lysbølger.

63. Lysets Natur. Indtil dette Aarhundrede var det en udbredt Anskuelse blandt Fysikerne, at Lyset skyldtes materielle

Smaadele, som udkastedes fra Lysgiveren og ved at træffe vort Øje frembragte Lysfornemmelsen. Men nu er denne Emissionsteori, der tillægges Newton, fuldstændig opgivet. Det var især Franskmanden Fresnel, der i Begyndelsen af dette Aarhundrede ved Beregninger og Forsøg viste, at mange Fænomener lettest og naturligtst lade sig forklare ved at betragte Lyset som en Bølgebevægelse.

Bølgeteorien, der allerede er fremsat af Hook og Huyghens for et Par Aarhundreder siden, siger, at Lyset er en Svingningsbevægelse i et eller andet Stof, saaledes at der ved de periodiske Svingninger, som forplante sig frem fra Del til Del, fremkommer Bølger paa lignende Maade, som vi kende det fra Lydbølger eller Snorbølger. Man tænkte sig, at Bølgebevægelsen foregik i et meget fint Stof, Æteren, som maatte opfylde hele det saakaldte tomme Rum og desuden gennemtrænge de gennemsigtige Legemer. Hvis denne Forklaring er rigtig, maa der kunne opstaa Interferens af Lysbølger ligesom af Lydbølgerne, og man skulde f. Eks. vente, at Lyset lige saa vel som Lyden bøjede omkring Hjørner. At dette nu virkelig er Tilfældet under visse Omstændigheder, kan man vise ved et simpelt Forsøg. Man betragter gennem en snæver Spalte en smal Lysgiver i nogen Afstand, enten en anden Spalte, hvorigennem Lyset trænger, eller det linieformede Billede, som dannes af Solen i en blank Metaltraad eller Kvægsølvvet i et Termometerrør. Man ser derved den smalle Lysgiver omgivet af parallelle farvede Striber, som netop fremkomme ved, at Lyset bøjer om Kanterne af den Spalte, man ser igennem. Ligeledes ser man et Stearinlys omgivet af lyse Striber, naar man kniber Øjnene sammen og ser igennem Øjenvipperne. Forsøgene kunne varieres paa mange Maader saaledes, at der kan foretages Maalinger af Bøjningen. Det er netop ved Forsøg af denne Art og ved andre Interferensfænomener, at man har faaet de bedste Beviser for Bølgeteoriens Rigtighed, idet Maalinger ved Forsøgene stemme nøje med Beregningen. Bølgebredderne for Lysbølger variere fra $0,0007 \text{ mm}$ for de røde Straaler til $0,0004 \text{ mm}$ for de violette, og heraf beregnes atter Svingningstallet pr. Sekund ved Hjælp af Ligningen $h = bn$, hvor h er

Lysets Hastighed, $3 \cdot 10^{11}$ Millimeter. Man finder for rødt Lys cr. 400 Billioner, og for violet Lys cr. 750 Billioner. Det er paa Grund af Bølgebreddernes ringe Størrelse, at Bøjningen ikke bemærkes under sædvanlige Forhold.

I Begyndelsen af dette Aarhundrede opdagede Franskmanden Malus Lysets Plansætning eller Polarisation. Dette Fænomen, som omtales nærmere i § 72, viser, at man ikke kan betragte Lyssvingningerne som Længdesvingninger i Straalens Retning, saaledes som man forestiller sig Lydbølgerne. I Stedet derfor betragtes Lysbevægelsen som Tværsvingninger vinkelrette paa Straalen, men i uophørlig skiftende Planer, ligesom man kan iagttage det med Tværsvingningerne i de Bølger, som en tynd Snor kan sættes i ved Hjælp af en Stemmegaffel (se mek. Fysik § 148); en plansat Lysstraale tænkes derimod at have Svingningerne stadig i samme Plan gennem Straalen, men vinkelrette paa denne sidste.

Oprindeligt forestillede man sig, at det var Æterens Elasticitet, som vedligeholdte Bølgebevægelsen, men naar man tænker paa en enkelt plansat Lysstraale, som bevæger sig frem i en ret Linie gennem det udstrakte Rum, som er helt opfyldt af den tynde luftformede Æter, bliver det dog vanskeligt at tænke sig Elasticiteten forplante Svingningerne videre, vinkelret paa Svingningsretningen, og der er ogsaa Punkter, hvor Beregningen ikke kan bringes i Overensstemmelse med Forsøgene, naar man fastholder Elasticiteten som den Kraft, der forplanter Bevægelsen. Medens man saaledes fastholder Teorien om, at Lyset er en Bølgebevægelse, og at Svingningerne gaa vinkelret paa Straalen, har man i de sidste Aartier søgt at forklare Svingningerne som periodiske elektriske Strømme, hvad enten disse saa foregaa i det ubekendte Stof, Æteren, eller i selve Legemernes Dele. Vi maa tænke os, at det Legeme, Lyset trænger igennem, ikke leder Elektriciteten i sædvanlig Forstand; hvis der da imellem et Par Nabomolekyler finder elektriske Svingninger Sted eller med andre Ord Smaastrømme med periodisk skiftende Retning, saa ville disse inducere parallelle Strømme ved Siden af, disse igen nye o. s. v., hvorved hele Bevægelsen skrider

frem vinkelret paa Strømmenes Retninger, eller vi faa en plansat Lysstraale. Lysets Hastighed skulde saaledes være den samme som den, hvormed Induktionen i den daarlige Leder forplanter sig. Dette mente Hertz ogsaa, at han kunde paa vise ved de Forsøg, som ere omtalte i Elektricitetslæren § 93, men det har senere vist sig, at Overensstemmelsen ikke er saa god, som det straks saa ud til. Efter denne Betragtning skulde det kun være de daarlige Ledere for Elektriciteten, der lade Lyset trænge igennem sig, hvilket passer ret godt med Erfaringen.

Den nu antydede elektromagnetiske Lysteori er navnlig udviklet af Maxwell i England og Lorenz i København.

64. Forklaring af Lysets Brydning. Lad os antage, at et Lysbunt kastes skraat ned mod Overfladen af et optisk tættere Stof f. Eks. Vand, hvis Brydningsforhold er n . Tværsnittet AB er da en Bølgeflade i Luft, det vil sige, den indeholder de Dele, som ere i samme Svingningstilstand. Efter Foucaults Forsøg, som ere nævnte i § 62, er

Lysets Hastighed i det tætteste Stof n Gange mindre end i Luft. Anvende vi nu Huyghens Princip (Se mek. Fysik § 145) paa Lys bølgerne og antage, at Lyset i det tætteste Stof bevæger sig gennem AD , medens det i Luften tilbagelægger Vejen $BC = n \cdot AD$, saa kunne vi betragte alle Punkter af Overfladen som Centrer for Bølger, og alle disse Bølger ville ved Interferens danne Bølgefladen CD , som rykker frem parallel med sig

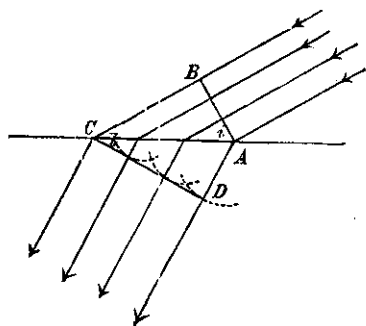


Fig. 71.

selv, medens Lysstraalerne ere vinkelrette derpaa. Den indfaldende og den brudte Straale danne med Normalen samme Vinkler, som Bølgefladerne med den brydende Overflade AC , altsaa Vinklerne i og b , men Figuren viser, at $\sin i = \frac{BC}{AC}$ og $\sin b = \frac{AD}{AC}$, hvorefter netop faas $\sin i = n \sin b$.

65. Lysets Bøjning. I et mørkt Værelse lader man Sollys trænge igennem en smal Spalte i Vindusskotten, og i nogen Afstand opstiller man en anden smal Spalte, som Lyset ogsaa passerer. Paa en Skærm længere borte ser man da en lys Stribe, paa begge Sider omgiven af flere farvede Striber, saa at Lysbilledet bliver meget bredere,

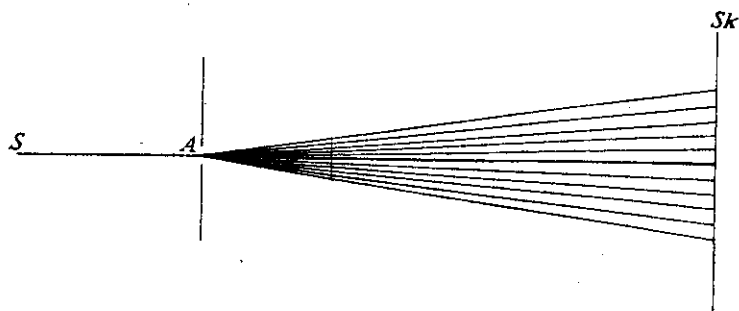


Fig. 72.

end man efter Spalternes Bredde maatte vente. Holder man ved Spalten i Skodden et rødt Glas, saa at Lyset passerer dette, bliver Billedet simplere, idet der kun viser sig flere røde Striber, adskilte ved mørke Mellemrum. I Figuren betyder *S* Spalten, hvor Lyset kommer fra, *Sk* Skærmen, paa hvilken de røde Striber attegne sig, idet Lysstraalerne bøje om Hjørnerne ved *A*, men ved Interferens give Lys og Mørke paa bestemte Steder.

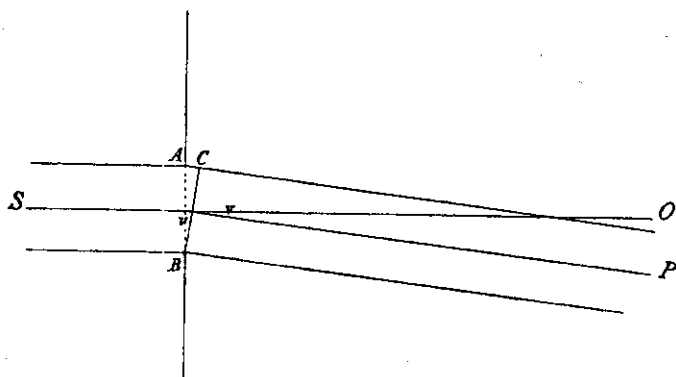


Fig. 73.

For at forklare dette ville vi benytte hosstaaende Figur, hvor *AB* forestiller den Spalte (forstørret), gennem hvilken Lyset bøjes. Vi ville antage, at dette er ensfarvet, og at den lysende Spalte er meget langt borte og indskrænkes til en Linie, saa at Lyset kan antages at komme parallelt og vinkelret paa *AB*, saaledes at denne er en Bølgeflade, hvori alle Dele ere i samme Svingningstilstand. Skærmen ville vi ligeledes antage er meget langt borte fra *AB*. Ethvert Punkt af Spalten kan nu, ifølge Huyghens Princip, betragtes som Centrum for en Lysbølge, og alle disse Bølger ville interferere. Det Punkt *O* af Skærmen, som ligger lige

ud for AB (i meget stor Afstand) vil træffes af lutter enkelte Straaler, som ere i samme Svingningstilstand, og derfor blive stærkt belyst, men de parallelle Straaler, som mødes i Punktet P paa Skærmen, ville ikke være i samme Svingningstilstand, fordi Straalerne fra Spaltens øverste Del have en større Vej længde end fra den nederste. Hvis nu de yderste Straalers Vejforskel netop er en hel Bølgebredde, saa kunne vi dele Spalten AB i to Dele, som indeholde lige mange Straaler, der 2 og 2 have en Vejforskel $= \frac{1}{2}$ Bølgebredde, men saadanne to Straaler ville opheve hinanden, da de altid ere i modsatte Svingningstilstande. I Punkt P bliver der derfor Mørke. Det samme gælder om saadanne Punkter, hvor de yderste Straaler have en Vejforskel, som er et helt Antal Bølgebredder, 2, 3, 4 o. s. v., idet Spalten da kan tænkes delt i 4, 6, 8 . . . lige store Dele, af hvilke 2 og 2 ville frembringe Mørke. Imellem de mørke Striber paa Skærmen bliver der Lys, men desto mindre, jo længere man kommer bort fra O . Ere vi f. Eks. i et Punkt, hvor Randstraalernes Vejforskel er $10\frac{1}{2}$ Bølgebredde, kan AB deles i 21 Dele, af hvilke de 20 ville interferere til Mørke, saa Lyset kun hidrører fra en ringe Del af Spalten. Derfor bliver Interferensbilledet mindre kendeligt, jo længere vi rykke bort fra Midten, der ses ikke ret mange Striber, eller Lyser bøjer ikke meget om Hjørnerne. Hvad der ogsaa bidrager til at formindske Interferensbilledets Udstrækning, er den Omstændighed, at der gennem Spalten altid kommer Straaler af forskellige Bølgebredder. Disse give ikke Lys og Mørke paa samme Steder, men udviske hinandens Billeder. Jo mere homogent Lys man har, desto større Udstrækning faar den kendelige Interferens.

Hvis vi trække BC vinkelret paa AC , da er AC Randstraalernes Vejforskel; sættes Bøjningsspaltens Vidde $AB = a$, og er Skærmens Afstand derfra l , saa vil den første mørke Stribe P ligge i en Afstand fra O , som er $OP = l \tan \vartheta$, men $\sin \vartheta = \frac{AC}{a} = \frac{\beta}{a}$, idet Bølgebredden er β . Da nu ϑ er lille, faas

$$OP = \frac{l \beta}{a}.$$

For de følgende mørke Striber faas

$$OP_1 = \frac{2l\beta}{a}; \quad OP_2 = \frac{3l\beta}{a} \text{ o. s. v.}$$

Striberne ligge altsaa i samme Afstand, saa længe ϑ er lille, og det er den som sagt altid, da der ikke ses ret mange Striber. Ved at maale OP , l og a kan man beregne Bølgebredden β , og man finder meget let ved at anstille Forsøget som nævnt en temlig nøjagtig Værdi, omtrent $0,0006 \text{ mm}$ for rødt Lys. Gøres Forsøget med grønt eller blaat Lys, finde vi, at Striberne ligge tættere ved hinanden, det vil sige, at β er mindre; jo større Brydbarhed Lyset har, desto mindre er Bølgebredden.

Det ses af Udtrykkene for OP , OP_1 o. s. v. at Striberne ligge mere spredt, naar Bøjningsspalten er snæver, men Billedet er da mere lys-svagt; er Spalten vid, bliver Billedet saa sammentrængt, at de mørke og lyse Striber ikke kunne adskilles.

Anvendes hvidt Sollys, vil hver Farveart give sit Interferensbillede af forskellig Vidde; alle disse smelte sammen, saa der ikke fremkommer mørke men derimod forskelligt farvede Striber.

Vi have hidtil tænkt, at det Lys, som traf Bøjningsspalten, kom fra en enkelt Linie, parallel dermed. Tager vi Hensyn til den lysende Spaltes Bredde, maa vi forestille os, at hver Linie af den giver sit Bøjningsbillede, men da disse ikke komme til at ligge ganske paa samme Sted af Skærmen, saa ville de udviske hinanden noget, saa Interferensen bliver mindre kendelig. Brede Lysgivere kunne derfor ikke bruges til Interferensforsøg, med mindre Bøjningsspalten er overordentlig snæver, saa Striberne ligge meget langt fra hinanden.

Den nu beskrevne Interferens iagttages smukkest paa følgende Maade. Lyset kommer igennem en Spalte, som befinder sig i Brændpunktet af en Linse; det parallel Lys træffer derefter Bøjningsspalten og iagttages gennem en Kikkert (Fig. 74).

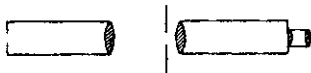


Fig. 74.

66. Interferens gennem 2 eller flere Spalter. Lade vi Lys fra en smal Spalte falde gennem to andre snævre Spalter, som ere stillede ganske tæt ved hinanden, saa iagttage vi for det første et lignende Bøjningsbillede som før, idet de to Billeder, som Spalterne give, dække hinanden; navnlig er dette nøjagtig Tilfældet, dersom vi anvende parallelt Lys og bruge Kikkert, som det er tegnet sidst i forrige §. Men i dette Bøjningsbillede viser der sig nu en Del mørke Linier, som især ere kendelige i den midterste, lyseste Del af Billedet. Disse hidrøre fra, at Lysstraaler fra den ene Spalte nu ogsaa kunne interferere med Straaler fra den anden. Bruger man flere Spalter i Stedet for 2, kommer der stadig flere nye mørke Linier, medens Billedet til Gengæld bliver mere lysstærkt paa andre Steder.

Disse Billeder kunne iagttages med det nævnte Kikkertapparat eller paa en Skærm. I sidste Tilfælde blive de smukkeste, dersom man først ved Hjælp af en Linse kaster et Billede af Belysningsspalten paa Skærmen, og saa paa et passende Sted indskyder de Spalter, hvorigennem Bøjningen skal foregaa.

I Stedet for Belysningsspalten anvendes ofte en Cylinderlinse, det vil sige en Linse, som er begrænset af to Dele af Cylindre i Stedet for Kugleflader. Gaar Sollyset lige igennem en saadan, dannes der en Brændlinie parallel med Linsen.

67. Frauenhoferske Gittere. Trækker man over en lille Ramme en Del tynde Metaltraade tæt ved hinanden, faar man et Gitter, gennem hvis Spalter Interferensen fremkommer, som det er beskrevet i forrige §. Gitterne kunne laves meget finere ved at forgyldte en Glasplade og trække Ridser i Guldet, eller ved at ridse i Glasset selv med en Diamant. Paa sidste Maade kan der endog anbringes indtil 1000 Ridser paa en Millimeter. Gennem saadanne fine Gittere med uhyre mange enkelte Spalter faar man ved ensfarvet Lys et Bøjningsbillede, som kun bestaar af skarpe lyse Linier paa mørk Grund.

Forklaringen herpaa er følgende. Vi tænke os Lyset bøjet en vis Vinkel ϑ gennem alle Gitterets enkelte Spalter, og dersom der nu mellem to Nabospalters Midtpunkter er Afstanden a , saa ville Straalerne fra den yderste Spalte have Vejforskellene $a \sin \vartheta$, $2a \sin \vartheta$, $3a \sin \vartheta$ o. s. v. med dem fra de følgende Spalter, Hvis $a \sin \vartheta$ er lig $0, \beta, 2\beta$ o. s. v., saa ville Straalerne fra alle Spalter forstærke hinanden og frembringe Lys. Men i alle andre Tilfælde bliver Lyset meget svagt, naar der blot er uhyre mange og fine Spalter i Gitteret. Thi det vil da altid være muligt at finde en Spalte, f. Eks. den p te, saaledes at Forskellen $pa \sin \vartheta$ er et ulige Antal halve Bølgebredder. Derved vil Lyset fra den første og den p te Spalte interferere til Mørke, ligeledes fra den anden og $(p+1)$ te o. s. v., og de Spalter, som muligvis blive tilovers, give kun et svagt Lys. Det forstaas herved, at Interferensbilledet ved ensfarvet Lys virkelig indskrænkes til enkelte lyse Striber i samme Afstand, bestemt ved

$$\sin \vartheta = 0, \sin \vartheta = \frac{\beta}{a}, \sin \vartheta = \frac{2\beta}{a} \text{ o. s. v.}$$

Hvidt Lys giver Striber af alle Farver i forskellig Afstand, og naar Gitteret er meget fint, ligger hver Farvestribe adskilt fra de andre, saa at der dannes et sammenhængende Spektrum. Hele Interferensbilledet bliver derfor først en hvid Stribe i Midten, paa begge Sider et Spektrum med den violette Ende nærmest ved Midten, uden for disse et nyt Spektrum, derefter et tredie eller flere, efter Gitterets Finhed. Det er kun Spektret af første Orden, som er helt isoleret, allerede det andet og tredie gribe lidt ind i hinanden. Fænomenet iagttages baade ved Projektion paa en Skærm og ved Kikkert.

Ved gode Gitterspektrer ser man Frauenhoferske Linier, og man har ved Bøjningen af disse et godt Middel til at bestemme Bølgebredden af hver enkelt Farvestraale, idet man nemlig maaler den Vinkel, Striben er bøjet, og kender Antallet af Gitterspalter paa 1 Millimeter. Gitterspektrerne ere meget lysstærke og kunne, naar de iagttages forstørrede, vise en Mængde fine Linier, og da Bøjningen er proportional med Bølgebredden, faa de forskellige Farvetoner i Spektret Udstrækninger, som svare til Forandringerne i Bølgerne. Man kalder disse Spektrer Normal-spektrer i Modsætning til dem, der dannes ved Brydning, hvor Glas-

sorten, som tidligere nævnt, har Indflydelse paa, hvor stor Farvespredningen er i Spektrets forskellige Dele.

De aller bedste Bøjningsspektrer faas ved at lade Lyset tilbagekastes fra et svagt konkavt Metalspejl, paa hvilket der er ridset en overordentlig Mængde fine Streger (Rowlands Gittere). Lyset fra en fin Spalte eller Cylinderlinse tilbagekastes herfra og danner et virkeligt Billede, bestaaende af en hvid Linie, paa hvis Sider der ligger et Par Spektrr, som enten kunne opfanges paa en Skærm eller iagttages umiddelbart ved Hjælp af en Lupe.

Det er tidligere forklaret, hvorfor Lysgiveren ved Interferensforsøg maa være saa smal. Er Gitteret fint, ses Interferensen dog ogsaa ved større Lysgivere, idet disses enkelte Dele give Billeder, som ikke udviske hinanden helt, fordi de ere saa brede. Saaledes kan man gennem et Glasgitter se Interferensen ved at betragte Solen eller Dagslyset. Ofte ser man Guldknapper med saa fine Graveringer, at der fremkommer tydelige Farver i det tilbagekastede Lys. Perlemor skylder lignende Aarsager sin Glans; ligeledes hidrøre mange Insekters Farvepragt fra det samme. Gennem en fin Fuglefjer kan man se smukke Interferensfarver; naar man kniber Øjnene sammen, kunne Øjenvipperne ligeledes tjene som Gitter.

68. Bølgebredder og Svingningstal. Af de foregaaende Forsøg saas det, at Lysbølgerne have forskellig Bredde efter Farvens Art; ved nøjagtige Maalinger har man fundet Bredden for en Mængde Frauenhoferske Linier; Værdierne gaa fra 0,0007 mm for det yderste røde til 0,0004 mm for det yderste violette. Herved faas atter Svingningstallet af Formlen $h = \beta \cdot n$, hvor h er Lysets Hastighed i Luften eller $3 \cdot 10^{10}$ Millimeter. Regningen giver, at Svingningstallet for de røde Straaler bliver cr. 400 Billioner i Sekundet, for de violette cr. 750 Billioner.

Hvis en Lysgiver bevæger sig imod os, maa vort Øje i hvert Sekund modtage flere Bølger, end om den stod stille (Dobblers Princip). Men dette vil sige, at Lysets Farve forandrer sig og rykker hen imod den violette Ende. Omvendt, hvis Lysgiveren fjerner sig fra os. Nu er imidlertid alle Hastigheder smaa i Forhold til Lysets, derfor bliver Forandringen kun ubetydelig. Det har dog været muligt at iagttage en ringe Forskydning af de Frauenhoferske Linier i nogle Stjernespektrr, hvoraf man kan udlede disse Stjernes Bevægelser i Retning ad Forbindelseslinien fra dem til os. Ligeledes kan der ses en Forskel paa Beliggenheden af Linierne, naar man betragter Solens to modsatte Rande, idet den ene paa Grund af Solens Akseomdrejning bevæger sig imod os og den anden fra os. Derved kan man bestemme Solens Omdrejningstid, og derved har man tillige et Middel til at afgøre, om de Frauenhoferske Linier virkelig skyldes Absorption i Solens Fotosfære eller hidrøre fra Indsugning i Jordens Luftlag, idet de terrestriske Linier ingen Forandring

lide. Endelig har man ved Liniernes Forskydning kunnet paavise heftige Bevægelser i Protuberanserne paa Solen.

69. Interferens gennem Huller. Ved at anvende et Lyspunkt f. Eks. Solbilledet ved en Linse af kort Brændvidde og lade Bøjningen ske gennem et lille Hul ser man, bedst ved parallelt Lys og Kikkert, Hullet omgivet af flere farvede koncentriske Ringe. 2 Huller, tæt ved hinanden, give et lignende Billede med parallelle mørke Streger igennem. 3 Huller ordnede i Toppunkterne af en ligesidet Trekant give et Billede med mange mørke Streger, som aftegne regulære Sekskanter.

Betragtes en Fiksstjerne gennem en Kikkert, frembringer allerede Objektivet selv en Bøjning, saa at Stjernen ses som en lille Skive, omgivet af farvede Ringe. Skiven og Ringene formindskes, jo større Objektivet er.

70. Skyggeinterferens. Dersom vi i et mørkt Kammer lade Lyset trænge ind igennem en Spalte eller Cylinderlinse og derefter træffe et Legeme, som kaster Skygge, saa ville vi paa en Skærm se, at der uden for Skyggens geometriske Begrænsning findes nogle mørke Linier, og ofte ses inde i Skyggen nogle lysere Linier. Dette skyldes Interferens ved Bøjning omkring Legemets Kant. Stiller man en smal Skyggegiver f. Eks. en Strikkepind op i Lysbuntet, ser man tydelig hele Skyggen selv gennemtrukket af lysere Striber. Strør man Heksemel paa en Glasplade og gennem denne betragter et Lys, ses dette omgivet af flere, brede, farvede Ringe, der fremkomme ved Lysets Bøjning omkring de enkelte Smaakorn. Paa lignende Maade dannes de Ringe, som i taaget Vejr omgive Solen og Maanen, ved Interferens om de smaa Vanddele.

71. Tynde Hinders Farve, Newtons Ringe. Tager man en Skaal Vand og lader enkelte Draaber Terpentin udbrede sig derpaa som et meget tyndt Lag, ser man det stærkt farvet. Det tynde Lag af Jærnilte som dannes ved Opvarmning af blankt Staal, viser lignende Farver. Farverne i en Sæbeboble ere ogsaa vel bekendte; lader man en halvkugleformet Sæbeboble staa rolig paa et Bord og sætter et Glas derover, ses Farverne ordnede i Ringe omkring det øverste Punkt; belyses Boblen med ensfarvet Lys, ses Ringene afvekslende mørke og lyse. De Steder, hvor Ringene vise sig, afhænge af Sæbehindens Tykkelse, der tiltager nedad; man kan ogsaa se, hvorledes Ringene flytte sig, naar Hinden ved Fordampning bliver tyndere.

Ogsaa et tyndt Luftlag viser saadanne Farver, eller ifald man bruger ensfarvet Lys, Afveksling mellem Lys og Mørke. For at se, hvilken Indflydelse Lagets Tykkelse har, anvendte Newton følgende Fremgangsmaade. Paa en meget svagt krummet Linse lagde han en plan-parallel Glasplade; kendes Linsens

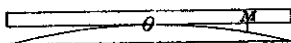


Fig 75.

Krumningsradius r , finder man ved en simpel geometrisk Betragtning $2ry = OM^2$, idet y er Lagets Tykkelse i Afstanden OM . Nu vise Iagttagelserne, at der ved vinkelret indfaldende og tilbagekastet ensfarvet Lys fremkommer mørke Ringe med Radier, der forholde sig som Kvadratroden af alle Tallene i Talrækken. Luftlagets Tykkelse paa de paa-gældende Steder forholder sig altsaa som selve Tallene i Talrækken.

Forklaringen ved Hjælp af Bølgeteorien er nn følgende. Hosstaaende Figur forestiller i forstørret Maalestok en Del af Luftlaget. A og B ere parallelle Straaler, som falde omtrent vinkelret ind;

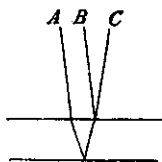


Fig. 76.

den første vil til Dels gaa ind i Luftlaget og tilbagekastes ved den anden Grænse, saa den kan træde ud igen paa Forsiden og falde sammen i C med den Del af Straalen B , som straks tilbagekastes. Vejforskellen mellem de to sammenfaldende Straaler er altsaa Lagets dobbelte Tykkelse, og vi skulde derfor vente, at de mørke Ringe viste sig paa de Steder, hvor Størrelsen $2y$ var $\frac{1}{2} \beta$, $\frac{3}{2} \beta$, $\frac{5}{2} \beta$ o. s. v. altsaa y proportional med de ulige Tal. Men dette er ikke Tilfældet. Aarsagen er den, at den ene af de to interfererende Straaler tilbagekastes fra et optisk tættere, den anden fra et optisk tyndere Stof. Men ved saadanne Tilbagekastninger lider, som Fresnel har vist, den ene Straale Tabet af en halv Bølgebredde. Derfor bliver i Virkeligheden Forskellen paa de to Straaler $2y + \frac{1}{2} \beta$, og de mørke Ringe vise sig der, hvor $2y$ er $= 0, \beta, 2 \beta$, o. s. v. Tykkelsen af Luftlaget er proportional med alle Tallene $0, 1, 2, 3 \dots$, og Ringenes Diametre med Kvadratroden af Tallene. Hvor Berøringen af de to Glaslegemer finder Sted, er der ogsaa en mørk Plet. Ved Anvendelse af Sollys ser man i tilbagekastet Lys farvede koncentriske Ringe, idet de mørke Steder for forskellige Farvearters Vedkommende have Afstande fra Midten, som afhænge af Bølgebredden, saa den ene Farve giver Lys, hvor den anden giver Mørke

I gennemgaaet Lys ses Newtons Ringe ogsaa, skønt svagere. I ensfarvet Lys ligge de mørke Ringe i det Tilfælde paa de Steder, hvor der før var Lys og omvendt; i hvidt Lys ere Farverne komplementære til dem, der vise sig ved Tilbagekastning. Forklaringen er følgende. Straalen A gaar ind i det tynde Lag og lider to Gange Tilbagekastninger derinde, nemlig ved E og F , saa at den til sidst gaar ud i Retning C og træffer sammen med Straalen BFC . Vejforskellen bliver her $2y$, idet de to Tilbagekastninger finde Sted inde i samme Stof, saa at der enten tabes eller vindes 2 halve Bølgebredder, men en Forandring af en hel Bølgebredde er det samme som slet ingen.

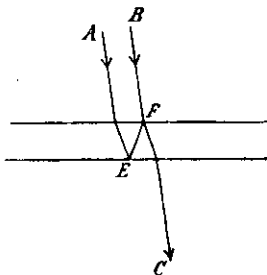


Fig. 77.

Ved ensfarvet Lys ville derfor de lyseste Steder komme der, hvor $2y = 0, \beta, 2\beta$ o. s. v., det vil sige, hvor der før var Mørke, og heraf følger atter, at Farverne ved hvidt Lys blive komplementære til dem, der vise sig ved Tilbagekastning.

Interferensfænomener af denne Art vise sig i Reglen kun ved meget tynde Lag. Ved større Tykkelse bliver nemlig Vejforskellen mange Bølgebredder, og der vil da altid være to Straaler af saa ringe Farveforskel, at Vejforskellen for den ene er et lige Antal halve Bølgebredder, naar den er et ulige Antal for den anden, saa Lys og Mørke ville dække hinanden. Jo mere homogent Lyset er, desto tykkere kan Laget være. De Newtonske Ringe ses i meget større Antal ved Belysning med Natriumlys end med almindeligt Dagslys.

72. Lysets Plansætning eller Polarisation. Ved Enderne af et Rør anbringe vi to plane Glasplader, der ere sværtede paa Bagsiden men spejlende foran. Glaspladerne kunne bringes i forskellige Hældninger mod Aksen, og desuden drejes omkring denne. Først lade vi

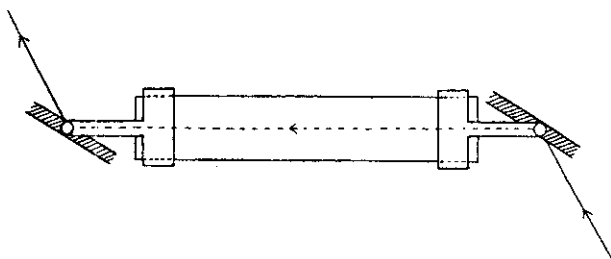


Fig. 78.

de to Spejle have samme Hældning og være parallelle. Naar Dagslyset da falder paa det ene, kan det tilbagekastes gennem Røret, som helst maa have et Par Blændinger inden i, for at Lysstraalerne kunne gaa parallelle, og man kan nu ved en ny Tilbagekastning i det andet Spejl se Blændingernes Aabninger lyse. Drejes derefter Okularspejlet omkring Aksen (eller Lysstraalerne), uden at Hældningen forandres, vil man se Lyset svækkes, mest naar Drejningen er 90° ; ved større Drejning forøges Lyset igen og bliver ved 180° det samme som før. Forandringen i Lysstyrke er ikke ens ved alle Hældninger men bliver størst, naar begge Spejle danne Vinkler paa 33° med Aksen, og Straalernes Indfaldsvinkel mod Spejlenes Normaler ere 57° . Ere Spejlene fuldstændig rene, for svinder Lyset i saa Fald ganske, naar Okularspejlet er drejet 90° fra Parallelstillingen; man siger da, at Okularspejlet er stillet paa Mørke.

Dette Fænomen kan man ikke forklare uden ved den Antagelse, at Lyssvingningerne foregaa vinkelret paa Straalen. Hvis Svingningerne

nemlig gik i Straalens Retning, saa vilde det være utænkeligt, at der kunde blive Forskel paa, i hvilken Indfaldsplan Tilbagekastningen fandt Sted, og hvis blot en Del af Svingningerne gik i Straalens Retning, kunde der ikke blive fuldstændigt Mørke. Man antager nu, at Svingningerne i det naturlige Lys foregaa i alle Retninger vinkelrette paa Straalen, men Tilbagekastningen forandrer Forholdet saaledes, at Svingningerne i den Del af Lyset, som tilbagekastes, fortrinsvis ligge i en bestemt Plan, og ved en vis Vinkel. Plansætningsvinklen, ligge Svingningerne udelukkende i een Plan. Det sandsynligste er, at Lyssvingningerne efter Tilbagekastningen under den bestemte Vinkel ligge i en Retning, som er vinkelret paa selve Indfaldsplanen. Naar Okularspejlet da er stillet paa Lys, er Indfaldsplanen den samme som ved det første Spejl, og derfor sker Tilbagekastningen let anden Gang; men drejes Okularet 90° , saa komme Svingningerne der til at ligge i Indfaldsplanen, og Straalen tilbagekastes ikke men gaar ind i Glasset. Metaller kunne ikke plansætte Lyset fuldstændig; derfor maa man bruge ubelagte Glasspejle.

73. Dobbeltbrydning. Mange Krystaller bryde Lyset dobbelt. Bedst ses det ved Hjælp af visse Kalkspatkrystaller, islandsk Dobbeltspat. Disse Krystaller spaltes let i tre bestemte Retninger, saa man faar Stykker deraf, der have Form som skæve Parallelepipeder. Ser man gennem et saadant paa en hvid Plet paa mørk Grund, ser man to Pletter. Ved nærmere Undersøgelse viser det sig, at Lyset fra disse to Billeder er plansat; betragtes de ved Hjælp af et Plansætningsokular, vil det ene forsvinde, naar det andet ses stærkest lysende. Krystallen spalter altsaa den naturlige Lysstraale i to, som have plane Svingninger, vinkelrette paa hinanden. Disse have ikke samme Hastighed gennem Krystallen, hvorfor Brydningen er forskellig.

Det er lykkedes at tildanne Kalkspatkrystallen paa en saadan Maade, at kun den ene af de plansatte Straaler gaar igennem, medens den anden bliver fuldstændig tilbagekastet. Et saadant Nikolsk Prisme er det bedste Middel, man har til at skaffe sig plansat Lys. Ser man gennem to Nikolske Prismer paa een Gang, forsvinder alt Lys, naar de ere stillede paa Mørke. Ligeledes kan man med Fordel benytte et Nikolsk Prisme som Okular, naar man plansætter Lyset ved Spejling.

74. Svingningsplanens Drejning. Bjergkrystallen har Form som langagtige sekssidede Prismer. Skæres en Plade ud af en saadan Krystal, vinkelret paa Aksen, kan en almindelig Lysstraale gennemløbe den uden at lide nogen Forandring. Anderledes er det med en plansat Straale; den vedbliver at være plansat, men faar sin Svingningsplan drejet. Simplest ses det ved ensfarvet Lys; man plansætter f. Eks. noget rødt Lys, enten ved et Spejl eller ved et Nikolsk Prisme og indstiller et andet Nikolsk Prisme derpaa, saa det udslukker alt Lyset. Indskydes nu en Bjergkrystalplade mellem Prismerne, kommer Lyset

igen, men kan atter bringes til at forsvinde ved en passende Drejning af Okularet. Ved Forsøg med andre Farvearter finder man, at Drejningen er større, jo mere brydbart Lyset er. Deraf indses det, at hvidt plansat Lys ved Gennemgangen gennem Bjergkrystallen maa blive farvet, thi da de forskellige Farver drejes ulige meget, vil Okularet i enhver Stilling udslukke forskellige Brøkdeler af dem, saa Lysets Sammensætning bagefter er forandret.

Der er kun enkelte andre Krystaller, som have samme Evne som Bjergkrystallen, men derimod er der adskillige Vædske, der kunne dreje Svingningsplanen. Navnlig gælder det om en Sukkeropløsning, og det er ikke vanskeligt af Drejningens Størrelse at afgøre, hvor mange Procent Sukker en Opløsning indeholder. Derfor har man konstrueret Apparater, Sakkarimetre, til Brug i Sukkerfabrikkerne og ved Sukkerhandelen, hvorved Sukkerets Godhed kan prøves.

Endelig har det vist sig, at mange Stoffer faa den samme Evne til at dreje Svingningsplanen, naar de udsættes for Virkningen af en stærk Magnet.

Opgaver.

64. Naar en Lysstraale tilbagekastes to Gange i samme Plan, danner den oprindelig indfaldende Straale og den sidst tilbagekastede en Vinkel, der er dobbelt saa stor som Spejlenes Vinkel. Bevis det.

65. To Hulspejle ere stillede, hvert med sit Centrum, i det andets Midtpunkt. Paa Aksen staar et lille Lys. Hvor ligger Billedet, opret eller omvendt?

66. Et Hulspejls hele Vinkel er 2α . Naar der falder parallelle Straaler paa Spejlet, hvor langt fra Brændpunktet ville da de fra Yderpunkterne tilbagekastede Straaler træffe Aksen?

$$\text{Res. } r \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha} \text{ (Længdeafvigelsen).}$$

67. Stilles en Skærm i Brændplanen, hvilken Radius faar da den belyste Plet?

$$\text{Res. } r \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha} \lg 2\alpha \text{ (Sideafvigelsen).}$$

68. En Genstand i Afstanden a fra et Spejl har et Billede i Afstanden b . Dersom Genstanden har en lille Udstrækning α i Spejlets Akse, hvor stor bliver da den tilsvarende Udstrækning β i Billedet?

$$\text{Res. } \beta = \frac{b^2}{a^2} \alpha. \text{ Forstørrelsen i Retning af Aksen er altsaa Kvadratet af Forstørrelsen vinkelret derpaa.}$$

69. Hvis et Straalepunkt sender en smal Lyskegle næsten lodret ind i Vand, hvorledes ligge da Straalerne inde i dette?

Res. De divergere fra et Punkt, som er $\frac{1}{2}$ Gange saa langt borte.

70. Hvor meget flyttes Billedet ved Brydning gennem en Glasplade, ved næsten normalt Indfald?

Res. $\frac{1}{2}$ af Pladens Tykkelse.

71. Hvis en Vandflade dækkes med et uigennemsigtigt Laag, som blot har et lille Hul, hvorledes ligge da alle de Straaler inde i Vandet, som udefra trænge derind?

72. Find en Formel for Afvigelsen af en Straale, som falder vinkelret ind paa en Prismeflade.

Res. $\sin(A + \sigma) = n \sin \sigma$.

73. Hvad er den mindste Indfaldsvinkel, en Straale kan have for at komme igennem et Prisme?

Res. $\sin \alpha = \sin \sigma \sqrt{n^2 - 1} - \cos \sigma$.

74. Konstruer det indbildte Billede af et Straalepunkt, som sender et smalt Lysbunt næsten vinkelret ind paa et Prisme med lille brydende Vinkel.

75. Konstruer et Billede af et Punkt gennem et tyndt Prisme og en Linse.

76. Man danner et Solbillede ved Hjælp af en almindelig, ikke akromatisk Linse. Hvilke Farver vise Billedets Rand, dersom man opfanger det paa en Skærm, som holdes inden for eller uden for Brændpunktet?

77. Naar vi se i en Teaterkikkert, holde vi Øjet tæt bag ved Okularet Midtpunkt. Dersom vi betragte Pupillen som et Punkt, kunne vi kun i Øjet opfange de Straaler, som efter Brydningen i Objektivet danne en Kegle med Objektivet som Grundflade og Pupillen som Topunkt. Beregn Synsfeltets Størrelse.

Res. Naar Objektivets Diameter er O , Kikkertens Forstørrelse f ,

have vi Vinklen $\frac{O}{f(P - p)}$. Blændes noget af Objektivet,

bliver Synsfeltet altsaa mindre.

78. Hvis vi tage Hensyn til Pupillens Udstrækning, kan Synsfeltet i en Teaterkikkert ikke bestemmes skarpt, idet Feltet faar en aftagende Klarhed ud imod Randen. Vis dette.

79. Ved en astronomisk Kikkert faar man alle de Straaler ind i Øjet, som træffe Okularet, idet nemlig Okularringen er mindre end Pupillen. Vis, at Synsfeltet alligevel faar en aftagende Klarhed mod Randen. Dersom vi ved en Blænding i Linsernes fælles Brændplan begrænse Synsfeltet saaledes, at Straaler fra Objektivets Midtpunkt kunne naa Okularet, hvad er da Feltets Vinkel?

Res. Den Vinkel, hvorunder Okularet ses fra Objektivets

Midtpunkt, altsaa ikke afhængig af Objektivets Størrelse.

80. Naar vi betragte en lysende Genstand, f. Eks. en Gasflamme, sender hvert enkelt Punkt af denne en Lyskegle gennem Øjets Pupill, og Straalerne forene sig i et Punkt paa Nethinden. Jo mere lysstærk Flammen er, desto mere Lys falder der paa hele Nethindebilledet. Ved Genstandens Klarhed ville vi forstaa Nethindebilledets Beleysning, det vil sige den Lysmængde, som i Sekundet falder paa Fladeenheden. Bevis, at Genstandens Klarhed er ens i forskellige Afstande, dersom vi ikke tage Hensyn til den Svækkelse, Lyset lider ved at gaa igennem Atmosfæren.

81. Vi betragte en Genstand gennem en Kikkert, som forstørrer f Gange; Objektivets Diameter er O , Pupillens U og Okularringens D , og ved nogenlunde store Forstørrelser er D mindre end U , saa at vi faa alt det Lys ind i Øjet, som træffer Objektivet og gaar igennem Kikkerten. Vi se bort fra det Lys, som tabes ved Tilbagekastning fra Linsefladerne. Hvad er Forholdet mellem den Klarhed, hvormed vi se Genstanden i Kikkerten og med det blotte Øje.

$$\text{Res. } \frac{O^2}{U^2 f^2} \text{ eller } \frac{D^2}{U^2}.$$

Vi se heraf, at stærke Forstørrelser svække Klarheden betydeligt, og der kan kun raades Bod derpaa ved Hjælp af store Objektiver.

Med Hensyn til Fiksstjernerne spiller Forstørrelsen ingen Rolle, som det allerede er omtalt i § 40, idet nemlig Billedet i Øjet ved bliver at være saa lille, at det kun kan dække et enkelt Nethindeelement. Fiksstjernernes Glans vil derfor i Kikkerter forøges i samme Forhold, som

Lysmængden vokser, det vil sige i Forholdet $\frac{O^2}{U^2}$.

82. Ved Kikkerter af ringe Forstørrelse kan det hændes, at Okularringen er større end Pupillen. Hvad er i det Tilfælde Klarheden?

Res. 1.

83. Naar man ser igennem den forkerte Ende af en Kikkert, hvor meget formindsker den da?

$$\text{Res. } \frac{P}{p} \text{ Gange.}$$

84. Naar en Platintraad holdes svagt rødgloedende ved en elektrisk Strøm, hvorledes ser den da ud gennem et grønt Glas?

85. Den ene af to komplementære Farver fremkommer undertiden ved Modsætning til den anden. Forklar derved følgende Forsøg. Paa et Stykke hvidt Papir stille vi paa et Bord en lille Pind og et Stearinlys. Pinden kaster to Skygger, en fra Stearinlyset og en fra det spredte Dagslys gennem Vinduet. Ved passende Lysstyrke er den første blaa, den anden gul. Staar Pinden paa gult Papir, bliver den første Skygge grøn i Stedet for blaa. Holdes et blaåt Glas foran Stearinlyset, kan man faa Skyggen til at blive gul.

86. Følgende Forsøg viser forskellige Legemers Forhold over for lysende og mørke Straaler. Man lader Solstraalerne falde paa et Brændspejl og holder et Stykke Papir i Brændpunktet; man ser en lys Plet, og Papiret bryder i Brand. Lader man derimod først Straalerne passere en Alunopløsning, ses Pletten lige lys, men Papiret brænder ikke. Gaa Straalerne gennem en sværtet Stensaltplade eller en Opløsning af Jod i Svovlkulstof, ses intet Lys, men Papiret brænder. En lille Glaskolbe med den sidst nævnte Vædske virker som et Brændglas, skønt den er uigennemsigtig.

87. Hvorledes kan man ved Glassets forskellige Gennemstraalelighed for lyse og mørke Straaler forklare den meget stærke Ophedning inde i et Drivhus?

88. Til hvilken Side forskyde Linierne i et Absorptionsspektrum sig, naar Lysgiveren bevæger sig fra os eller imod os?

89. Hvis et Legeme, som viser et kontinuerligt Spektrum, bevæger sig, er der da nogen Forandring at iagttage i Spektret?



INDHOLD.

	Side
Lysets retlinede Gang	1
Lysets Tilbagekastning	6
Lysets Brydning	19
Øjet, Seredskaber	38
Farver	53
Lysstraalernes Gennemgang gennem Legemerne, Tilbagekastning og Indsugning	67
Straalernes Varmevirkninger	72
Straalernes kemiske Virkninger	74
Straalernes Energi	76
Lysets Hastighed	78
Lysbølger	79
