

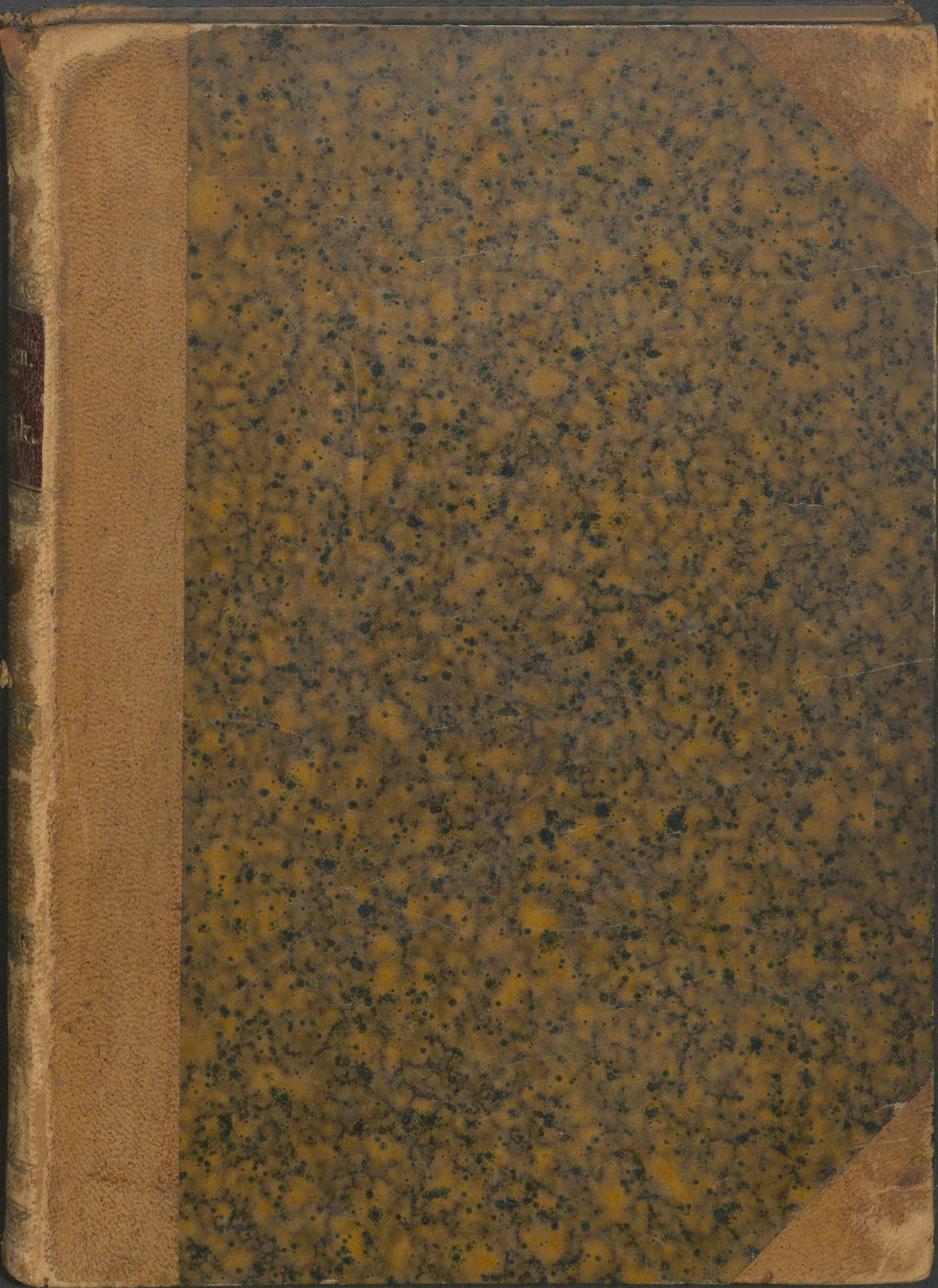
Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*



535 Pan

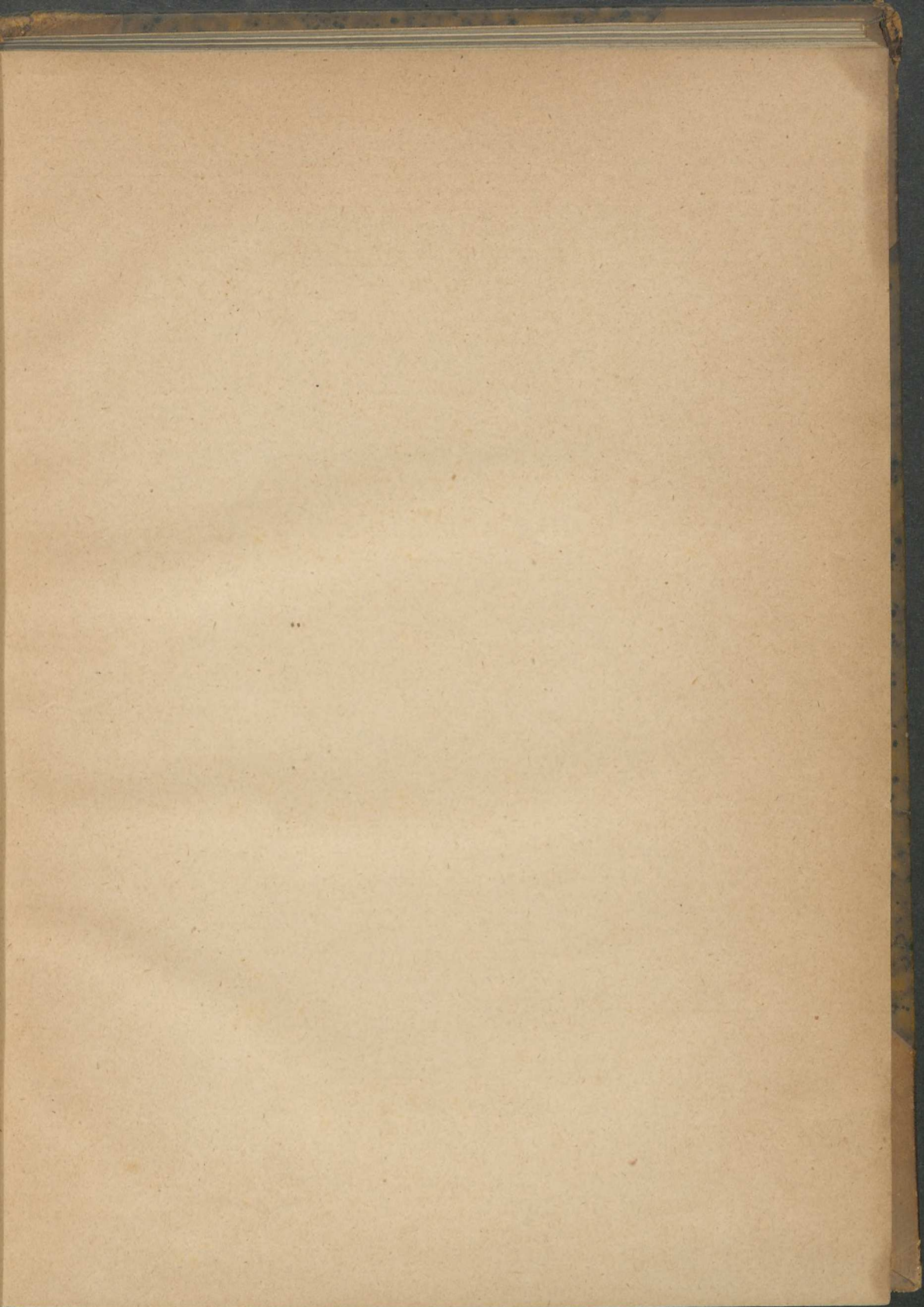
1876

DANMARKS TEKNISKE BIBLIOTEK

224160

300009286806





LÆREBOG I OPTIK

til Brug for

de lærde Skolers mathematisk-naturvidenskabelige Afdeling.

Af

ADAM PAULSEN.

~~~~~  
Med 114 i Texten indtrykte Afbildninger.  
~~~~~

KJØBENHAVN.

P. G. PHILIPSENS FORLAG.

THIELES BOGTRYKKERI.

1876.

LÆREBOG I OPTIK

af

den lærde, og akademiske, og offentlige, og private, og

ADAM PAULSEN

Forfatter af

KYNDIGHED

I DEN HØJERE SKOLE

OG I DEN LØBENDE

SKOLE

Indholdsfortegnelse.

	Side
Første Kapitel (Lysets retlinede Udbredelse — Lysmaaling)	1.
I. Lysets retlinede Udbredelse § 1—7.	
II. Lysmaaling § 8—13.	
Andet Kapitel (Lysets Tilbagekastning)	13.
I. Tilbagekastning fra plane Flader § 14—19.	
II. Instrumenter, grundede paa Lysets Tilbagekastning fra plane Spejle § 20—23.	
III. Lysets Tilbagekastning fra krumme Flader § 24—36.	
Tredie Kapitel (Lysets Brydning)	40.
I. Brydningsloven — Brydning gennem plane Flader § 37—48.	
II. Linser § 49—63.	
Fjerde Kapitel (Forskjelligartede Lysstraaler)	73.
I. Sollysets Farveadspredelse § 64—73.	
II. De frauenhoferske Linier — Spektre af forskellige Lyskilder — Spektralanalysen § 74—83.	
III. Lysstraalernes forskellige Virkninger § 84—91.	
IV. Akromatisme § 92—94.	
Femte Kapitel (Øjet)	104.
Sjette Kapitel (Mikroskoper og Kikkerter)	118.
I. Mikroskoper § 109—117.	
II. Kikkerter § 118—129.	
Syvende Kapitel (Lysets Hastighed)	136.
Ottende Kapitel (Lysets Natur)	144.

Trykfejl.

Side 9, 14de Lin. f. n.: fladeenhed læs: flade.
- 44, 1ste - f. o.: stærkest læs: mindst.

Første Kapitel.

Lysets retlinede Udbredelse. — Lysmaaling.

1. Lysets retlinede Udbredelse.

1. Indledende Bemærkninger. Lyset er den Naturvirkksomhed, der gjør Gjenstandene synlige. Foruden denne Indvirkning paa Synsorganet har Lyset ogsaa andre Virkninger. Den samme Virksomhed, der frembringer Lys, fremkalder saaledes ogsaa Varme. Lyset udøver endvidere kemiske Virkninger, idet det saavel kan adskille sammensatte Stoffer i simplere Bestandele, som omvendt bringe Grundstoffer til at indgaa en kemisk Forening.

2. De Lysindtryk, Øjet modtager, ere forskellige saavel i Kvantitet som i Kvalitet (Farveindtryk); endvidere sandse vi Retningen af det Lys, der kommer til Øjet fra en synlig Gjenstand. Idet vi saaledes samtidig modtage Lysindtryk i forskellige Retninger og opfatte ethvert af dem som kommende fra et i en bestemt Retning liggende ydre Punkt, se vi Gjenstandene og danne os en Forestilling om deres Størrelse ved at henføre Lysindtrykkenes forskellige Retninger til Gjenstandenes forskellige Punkter.

3. Iblandt de forskellige Legemer, der omgive os, findes der nogle, der altid ere synlige, naar vi rette vore Øjne imod dem. Saadanne Legemer kaldes selvlysende. Hertil høre

Solen og Fixstjerne-erne samt en Del Meteor-er som Stjerne-skud, Ildkugler, Lynet og Nordlyset. Af selvlysende Legemer paa Jorden ere flammende og glødende Stoffer de vigtigste. Alle saadanne Legemer udsende Lys ved en dem selv iboende Virksomhed.

Andre Legemer derimod ere kun synlige, naar de ere stillede saaledes, at de kunne modtage Lys eller belyses af et selvlysende Legeme. Saadanne Legemer kaldes mørke. Hertil høre Maanen og Planeterne samt saa godt som alle Legemer paa Jorden.

De ikke selvlysende Legemer blive ikke alene synlige, naar de belyses af en Lysgiver, men ogsaa i Stand til at belyse andre Legemer. Saaledes oplyser Maanen vore Nætter ved det Lys, den modtager fra Solen. Da de mørke Legemer ikke ere selvstændige Lyskilder, blive de kun synlige ved at tilbagekaste det Lys, de modtage. Alle Lysindtryk skyldes saaledes oprindelig kun forholdsvis faa selvlysende Legemer. Saaledes ere saa godt som alle de Gjenstande, vi se om Dagen, kun synlige ved det fra Solen stammende Lys.

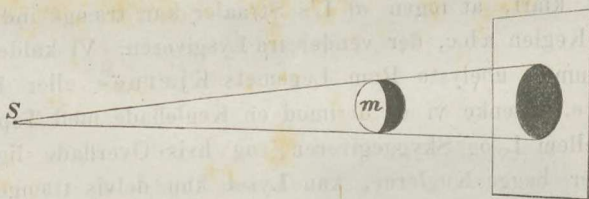
4. Den Vej, Lyset følger, er i samme ensartede Stof altid retlinet. Dette kunne vi allerede slutte deraf, at vi ved stadig at nærme os et Punkt i den Retning, hvori vi se det eller efter dets Synslinie, altid maa bevæge os i en ret Linie. Vi kalde de rette Linier, hvori Lyset forplanter sig, Lysstraaler. Denne Lysets Bevægelsesretning er ikke synlig; vi kunne ikke iagttage selve Lysstraalerne. Naar vi kunne se Solstraalernes Vej i et Værelse eller i Luften, er det ikke dem vi se, men smaa Støvgran, der belyses af Sollyset. Lader man Solen skinne igjennem et Glasrør, der indeholder fuldkommen for Støvgran rensed Luft, kunne vi heller ikke i dette forfølge Lysets Vej.

Ethvert Punkt, hvorfra der udgaar Lys, kaldes et Straalepunkt. Alle de Straaler, der udgaa fra et Straalepunkt og træffe en vis Flade, kaldes en Straalekegle. Ved to Punkters Synsvinkel forstaa vi den Vinkel, der dannes af deres Synslinier. Ved denne maale vi to Punkters tilsyne-

ladende Afstand. Et Legemes tilsyneladende Størrelse er den Rumvinkel, der dannes af alle Synslinierne til dets Omrids.

5. I Henseende til Legemernes Forhold over for det Lys, der træffer dem, findes der nogle, der standse Lyset paa dets Vej, idet de ikke lade Lyset gaa igjennem sig, men tilbagekaste eller indsuge det. Saadanne Legemer kaldes uigjennemsigtige. Andre Legemer, de gjennemsigtige, lade derimod en større eller mindre Del af Lyset straaale igjennem sig. Intet Stof er dog fuldkomment uigjennemsigtigt eller gjennemsigtigt. Lyset trænger saaledes igjennem et meget tyndt Guldblade. Det mest gjennemsigtige af alle de Legemer, vi kjende, er Luften. Men selv denne er langt fra fuldkommen gjennemsigtig. Solens Lys svækkes saaledes saa stærkt i Nærheden af Horizonen, at vi kunne taale at se paa den, fordi dens Straaler, naar den staar lavt paa Himlen, gennemløbe en langt større og tættere Del af Atmosfæren, end naar den er højt oppe. Af samme Grund ses langt bortfjernede Gjenstande altid som gennem et Taageslør.

Fig. 1.

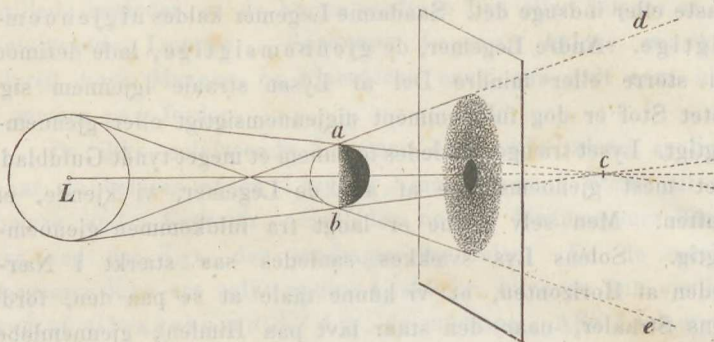


6. Skyggedannelsen. Tænker man sig et Straalepunkt S (Fig. 1.) i et mørkt Rum foran et uigjennemsigt Legeme m, vil paa Grund af Lysets retlinede Forplantelse ingen Straale trænge ind bag ved Legemet indenfor den Kegelade, der har sit Toppunkt i Straalepunktet, og som tangerer m. Dette ubelyste Rum kaldes Legemet's Skyggekegle eller Skygge. Opfanges Lystraalerne paa en bag ved Legemet opstillet Skærm, frembringer Skyggekeglens Skæring af denne en ubelyst

Flade, der kaldes Legemets Slagskygge. Dennes Tværmaal er proportionalt med dens Afstand fra Straalepunktet.

Have vi i Stedet for et Straalepunkt et lysende Legeme L (Fig. 2), vil der foruden et fuldkomment ubelyst Rum tillige

Fig. 2.



findes et andet, hvori Straalerne fra kun nogle af L 's Straalepunkter trænge ind. Ere Lysgiveren og Skygge giveren begge Kugler, og tænke vi os en Kegleflade, der tangerer begge Kuglerne, og hvis Toppunkt c ligger paa samme Side af begge, er det klart, at ingen af L 's Straaler kan trænge ind i den Del af Keglen abc , der vender fra Lysgiveren. Vi kalde dette fuldkommen ubelyste Rum Legemets Kjerne- eller Fuldskygge. Tænke vi os derimod en Kegleflade med Toppunkt mellem L og Skygge giveren, og hvis Overflade ligeledes tangerer begge Kuglerne, kan Lyset kun delvis trænge ind i det Rum af denne, der ligger udenom Fuldskyggen. Dette delvis belyste Rum kaldes Legemets Halvskygge. Jo mere vi fra Fuldskyggen nærme os Halvskyggens ydre Begrænsning, desto stærkere bliver Belysningen i denne, thi en desto mindre Del af det lysende Legeme vil Skygge giveren dække for. Halvskyggens Begrænsning er derfor ikke skarp, hvad vi ogsaa iagttage, naar vi opfange Skyggen paa en Skærm.

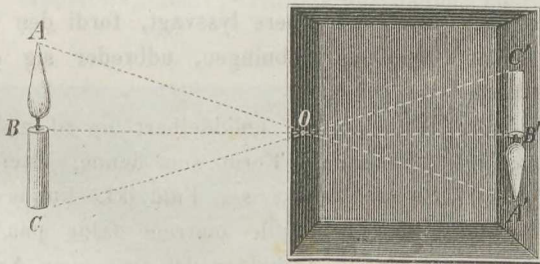
Er Lysgiveren større end Skygge giveren, har Fuldskyggen en endelig Udstrækning. For det Tilfælde, at de begge ere

Kugler, kan Fuldskyggens Længde let bestemmes af de to Kuglers Radier og Afstanden mellem deres Midtpunkter. Dragges nemlig i Kuglerne to parallelle Radier til de tangerende Straalers Berøringspunkter og kaldes den største af disse R , den mindste r , Afstanden mellem Centrene a og Afstanden fra Skyggekeglens Toppunkt til den skyggegivende Kugles Midtpunkt l , har man $\frac{l}{a} = \frac{r}{R-r}$, hvorefter $l = \frac{ar}{R-r}$.

Er den lysende Kugle derimod lige stor med eller større end den skyggegivende, bliver Fuldskyggens Udstrækning uendelig stor. Det indses let, at Halvskyggen i alle Tilfælde strækker sig i det uendelige.

Da vi ikke kunne iagttage Lysstraalerne, kunne vi heller ikke se Skyggekeglen. Vi bemærke kun Slagskyggen ved dens Modsætning til den omkring den belyste Flade. At Skyggerne her paa Jorden ikke ere fuldkommen mørke, hidrører fra, at der allevegne udenfor findes Legemer, der belyses, og som derved kaste Lys ind i Skyggen. Saaledes bliver en meget stor Del af det Sollys, der udsendes til Jorden, kastet tilbage fra Atmosfæren. Var Luften fuldstændig gjennemsigtig, hvis den intet af Sollyset tilbagekastede, vilde Himlen vise sig for os som et absolut mørkt Rum, besaaet med endnu flere Stjerner end vi kunne se under de gunstigste atmosfæriske Forhold.

Fig. 3.



7. Billeddannelse ved smaa Aabninger. Naar en Gjenstand sender sit Lys gennem en lille Aabning ind i et mørkt Kammer, vil der paa den modstaaende

Væg eller paa en bag Aabningen holdt Skærm dannes et omvendt Billede af Gjenstanden. Ethvert af dennes Straalepunkter som A (Fig. 3.) vil nemlig gennem Aabningen O sende en lille Straalekegle, der paa Skærmen vil frembringe en lille belyst Plet A' af samme Form som O. Paa denne Maade vil der paa Væggen fremkomme en Samling af lysende Pletter, som B' og C', der hver svarer til sit Punkt af Gjenstanden, og alle disse Pletter ville da være saaledes ordnede, at de tilsammen danne et omvendt Billede af den. Et saaledes frembragt Billede er dog ikke skarpt, thi dels afbilder hvert Punkt af Gjenstanden sig som en lille Flade, og dels ville Billederne af de Straalepunkter, der ligge hinanden meget nær, delvis dække hinanden.

Tænker man sig Øjet i O, vil Gjenstanden og Billedet have samme tilsyneladende Størrelse, hvorimod deres virkelige Størrelser i lineære Udstrækninger forholde sig som deres Afstande fra Aabningen.

Paa samme Maade dannes der et lille Billede af Solen, naar dens Straaler gennem en lille Aabning trænge ind i et mørkt Værelse. Derfor blive alle solbelyste Pletter, der fremkomme paa denne Maade, runde, hvad Form Aabningen end har.

Flyttes Skærmen længere bort, bliver Billedet større og tillige skarpere, eftersom de lyse Pletter, der dannes af de enkelte Straalepunkter, rykke længere fra hinanden; men paa den anden Side bliver det mere lyssvagt, fordi den Mængde Lys, der sendes gennem Aabningen, udbreder sig over en større Flade.

Holdes Skærmen derimod umiddelbart op til Aabningen, faar den belyste Del samme Form som denne, eftersom de enkelte Punkters Smaabilleder i saa Fald ikke kunne spredes tilbørlig fra hinanden, men alle omtrent falde paa samme Sted. Paa samme Maade forholder det sig, naar Aabningen er stor, idet de lyse Pletter, der dannes af de enkelte Straalepunkter, blive saa store, at de alle falde sammen i deres største Udstrækning.

II. Lysmaaling.

8. En Lysgivers Lysstyrke er hele den Lysmængde, den hvert Øjeblik udsender til alle Sider.

Ved et Legemes Klarhed forstaa vi den Lysmængde, der hvert Øjeblik udstraaler fra hver Overfladeenhed.

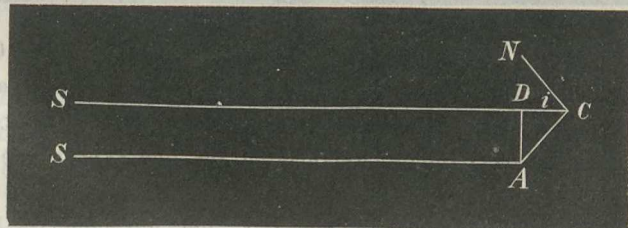
Den Belysning, en Lysgiver kaster paa et andet Legeme, er den Lysmængde, en Overfladeenhed af dette hvert Øjeblik modtager fra Lysgiveren.

9. Tænke vi os i et fuldkomment gjennemsigtigt og ensartet Stof et Straalepunkt, der udstraaler lige stærkt Lys til alle Sider, og kalde vi dets Lysstyrke L , vil den Belysning, det kaster paa en Kugleflade med Radius a og Straalepunktet som Centrum, være udtrykt ved $\frac{L}{4\pi a^2}$. Den Belysning, et Straalepunkt frembringer paa en Flade, der er stillet vinkelret paa Straalerne, forholder sig altsaa omvendt som Kvadratet paa dets Afstand fra denne, under Forudsætning af, at intet Lys tabes paa Vejen.

Udsender Straalepunktet ikke lige stærkt Lys i alle Retninger, gjælder denne Lov kun for Belysningen i en og samme Retning.

10. Falde Straalerne ikke vinkelrette ind paa en Flade, afhænger dennes Belysning foruden af Afstanden tillige af den Vinkel, »Indfaldsvinklen«, Straalerne danne med Fladens

Fig. 4.

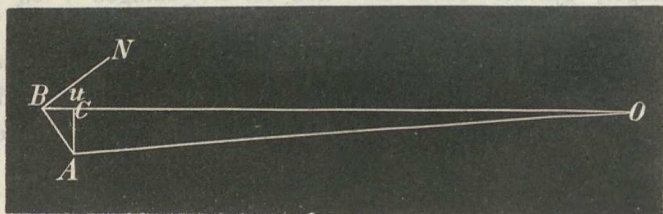


Normal. Et Fladeelement, AC (Fig. 4.), der belyses af Straalebundtet $SASC$, hvis Straaler ere parallelle, vil nemlig

modtage samme Lysmængde L som Fladeelementet AD , der er stillet vinkelret paa Straaleretningen. AC 's Belysning bliver altsaa $\frac{L}{AC} = \frac{L \cos CAD}{AD} = \frac{L}{AD} \cos i$, idet NC er Normalen til AC . Belysningen forholder sig altsaa som cosinus af Indfaldsvinklen.

11. Den Mængde Lys, der udstråler fra et lysende Legemes Overflade, er ikke ens i alle Retninger, idet den afhænger af »Udstrålingsvinklen« eller den Vinkel, Straaleretningen danner med Fladens Normal. For de selvlysende Legemers Vedkommende kunne vi udlede Loven for denne Afhængighed af det bekendte Fænomen, at et selvlysende Legeme, der overalt har samme Klarhed, viser sig for os som en ensformig lysende Flade. Betragt vi saaledes i Mørke en glødende Jernkugle, ser denne ud som en glødende Skive; paa en glødende prismatisk Metalstang kunne vi ikke iagttage Kanterne. En Metaltraad, der gløder ved en elektrisk Strøm, faar et Udseende som et fladt Baand. Et Fladeelement AB (Fig. 5) af et selvlysende Legeme vil altsaa sende den samme

Fig. 5.



Lysmængde til Øjeaabningen O som et andet Element AC af samme Klarhed, og som er lig med dets Projektion paa et paa Straalerne vinkelret Plan, eftersom begge Elementerne have samme tilsyneladende Størrelse og ses lige stærkt lysende. Er altsaa L den Lysmængde, hvert af de to Elementer udsender til Øjet, vil den Mængde Lys, der udsendes fra hver Fladeenhed af AC være $\frac{L}{AC}$ og fra hvert Fladeelement af AB

$\frac{L}{AB} = \frac{L}{AC} \cos u$, hvor u er Udstraalingsvinklen, idet BN er vinkelret paa AB . Mængden af det Lys, der i en bestemt Retning udstraaler fra en Fladeenhed af et selvlysende Legeme, er altsaa proportional med cosinus af Udstraalingsvinklen.

Er Legemet derimod ikke selvlysende, kunne vi ikke angive nogen almindelig Lov for den Lysmængde, det ved Tilbagekastning udsender i en bestemt Retning.

12. Sammenholde vi altsaa de for Belysningen fundne Love, se vi, at den Belysning B , et Overfladeelement o af et selvlysende Legeme kaster paa et andet Fladeelement i Afstanden a , kan udtrykkes ved

$$B = k \frac{o}{a^2} \cos u \cdot \cos i,$$

hvor u og i ere Udstraalings- og Indfaldsvinklerne og k proportional med Klarheden af det Lys, der udstraaler i en Retning, vinkelret paa Lysgiverens Overflade.

13. Forholdet mellem to Lysgiveres Lysstyrke maales ved Forholdet mellem deres Lysevner, hvorved forstaas den Belysning, de i Enhed af Afstand frembringe paa en Overfladeenhed, der er stillet vinkelret paa Straalerne. Kaldes to Lysgiveres Lysevne E og E' , og ere a og a' deres Afstande fra en Flade, paa hvilke Straalerne falde vinkelret ind, vil den Belysning, hver af dem kaster paa denne, henholdsvis være $\frac{E}{a^2}$ og $\frac{E'}{a'^2}$. Belyses Fladen lige stærkt af begge, haves altsaa

$$\frac{E}{a^2} = \frac{E'}{a'^2},$$

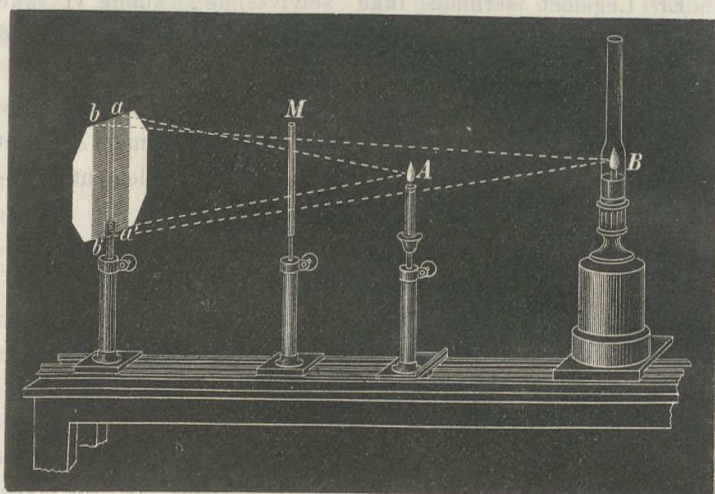
Frembringe to Lysgivere samme Belysning under samme Indfaldsvinkel, maa deres Lysevner altsaa forholde sig som Kvadraterne af deres Afstande til den belyste Flade.

Paa denne Sætning grunde alle de Metoder sig, man har anvendt til Bestemmelsen af Forholdet mellem to Lysgiveres Styrke. Man lader nemlig to ensartede Flader belyses under

samme Indfaldsvinkel hver af sin Lysgiver og opstiller disse saaledes, at begge Belysninger ere ens.

Rumfords Lysmaaler (Fotometer) (Fig. 6) bestaar af en lodret stillet Skærm af hvidt Papir, foran hvilken er anbragt en lodret uigjennemsigtig Stok M. Opstilles to Lysgivere

Fig. 6.

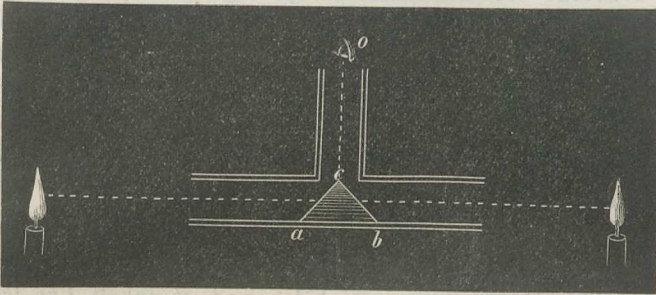


A og B foran Skærmen, vil Stokken kaste to Skygger a og b, af hvilke b er belyst af A og a af B. Anbringer man da disse saaledes, at de to Slagskygger paa Skærmen vise sig lige stærke, sender hver Lysgiver lige meget Lys til Skærmen. Deres Lysevner ville da forholde sig som Kvadraterne paa deres Afstande fra Skærmen. For bedre at kunne sammenligne Skyggerne indretter man det saaledes, at de komme til at ligge tæt op ad hinanden. Skulle Forsøgene med denne Lysmaaler give paalidelige Resultater, maa den opstilles i et mørkt, helst sortmalet Værelse, da ellers Tilbagekastningen fra Væggene indvirker forstyrrende.

Ved Ritchies Lysmaaler falde Lysstraalerne fra begge Lyskilderne fra to modsatte Sider ind i et indvendig sværet Rør af rektangulært Gjennemsnit (Fig. 7). I Rørets Midte findes to med hvidt Papir overtrukne Flader a c og b c, der

danne Vinkler paa 45° med Rørets Axe, og som foroven støde sammen i en skarp horizontal Kant. Ovenover denne er der i

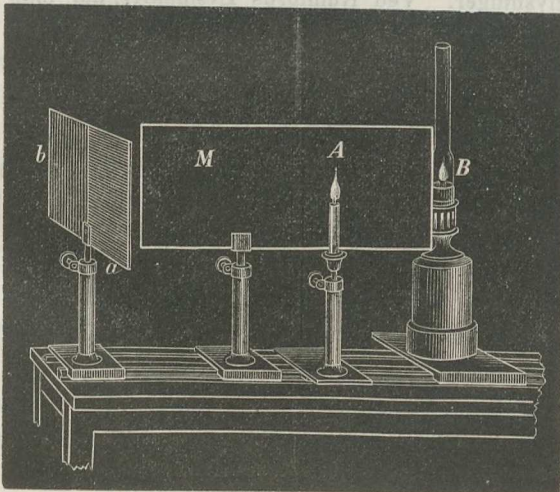
Fig. 7.



Rørets Væg anbragt en Aabning med et vertikalt Rør, gennem hvilket Kanten og de to Papirstykker kunne betragtes. De to Lysgivere, der hver kun belyser sin Flade, stilles da saaledes, at begge Flader vise sig ens belyste. Deres Lysstyrke ville da forholde sig som Kvadraterne af deres Afstande fra de belyste Flader.

Endelig skulle vi endnu omtale Bouguers Lysmaaler, hvor to Dele af samme Flade belyses hver af sit Lys (Fig. 8).

Fig. 8.



Den belyste Skærm er i Almindelighed en ensartet overalt lige tyk gjennemsigtig Porcellænsplade. Foran dennes Midte er der anbragt en paa denne vinkelret stillet Skærm M, hvis Sider ere sværtede for at hindre Belysning ved Tilbagekastning. De to Lys A og B, hvis Styrke skal sammenlignes, opstilles saaledes, at den omtalte Skærm kun tillader hvert enkelt at belyse sin Del a og b af Porcellænspladen, og man stiller da Lysene saaledes, at Pladen, der betragtes bag fra, viser sig ens belyst paa begge Halvdele. Forholdet mellem deres Lysevner beregnes da paa samme Maade som ovenfor.

Ved disse Lysmaalere kan man endvidere experimentalt godtgjøre Loven for Belysningens Svækkelse efter Afstanden fra Lyskilden. Naar man saaledes med et enkelt Lys frembringer en vis Belysning paa den ene Halvdel af den hvide Skærm paa den sidst omtalte Lysmaaler, maa man for at belyse den anden lige saa stærkt fra den dobbelte Afstand tænde fire Lys, om hvis Ensartethed med det første man ad andre Veje har overbevist sig, f. Ex. ved at tilberede dem paa samme Maade.

Lysmaalinger kunne kun med ensartet Lys udføres med nogenlunde Nøjagtighed, og denne er da atter afhængig af den Nøjagtighed, hvormed vi kunne bedømme Ligestorheden af to Belysninger. Ved Rumfords Lysmaaler har man fundet, at den ene Skygge blev usynlig, naar man anvendte to lige stærke Lys, af hvilke det ene var 8 Gange længere borte end det andet, i hvilken Afstand Belysningen af det længst bortfjernede Lys er 64 Gange mindre end af det andet, saa at der ved Lysmaalinger altsaa kan indtræde en Fejl af noget over $1\frac{1}{2}$ Procent.

Andet Kapitel.

Lysets Tilbagekastning.

1. Tilbagekastning fra plane Flader.

14. Naar et ikke selvlysende Legeme belyses af en Lysgiver, bliver det kun synligt ved at tilbagekaste det Lys, det modtager. I Almindelighed kunne vi se et belyst Legeme fra alle de Punkter, til hvilke Straaler fra dets Overflade kunne naa Øjet, og vi maa da heraf slutte, at de Lysstraaler, der træffe et ikke selvlysende Legemes Overflade, i Almindelighed tilbagekastes i alle mulige Retninger fra de forskjellige Punkter af dets Overflade.

Er Overfladen af et Legeme glat, tilbagekastes der imidlertid i enkelte ved det indfaldende Lys bestemte Retninger mere Lys end i alle andre. Lade vi saaledes i et Værelse Solstraalerne beskinne et Stykke Glas eller blankt Metal, bliver altid en eller anden lille Del af Loftet eller Væggen særlig belyst af de fra Glasset eller Metallet tilbagekastede Straaler, hvilket altsaa viser, at der i Retningen mod den belyste Plet tilbagekastes mere Lys end i en hvilkenksomhelst anden. Et saadant Fænomen iagttage vi derimod ikke ved en ru Overflade. Skinner Solen f. Ex. paa Gulvet i et Værelse, kunne vi ikke paa Loftet eller Væggen iagttage nogen belyst Plet, der fremkommer ved Tilbagekastning fra Gulvet.

Betragte vi en belyst glat Flade i den Retning, i hvilken den største Mængde Lys tilbagekastes, iagttage vi et mere eller mindre tydeligt Billede af den Gjenstand, hvor fra Lyset stammer, hvorimod det belyste Legemes Overflade viser sig mere utydelig paa det Sted, hvor Billedet ses, end paa alle andre.

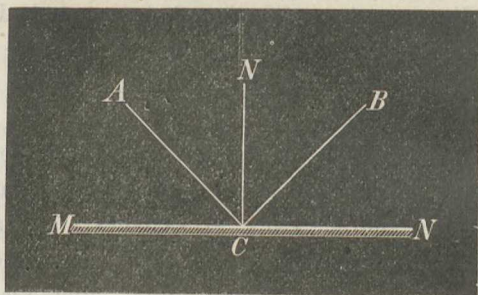
Vi kalde den først omtalte Art Tilbagekastning, der gjør Gjenstandene synlige for os, den spredte eller uregelmæssige Tilbagekastning, hvorimod Tilbagekastningen kaldes

regelmæssig eller spejlende, naar Lysstraalerne kastes tilbage i bestemte Retninger.

15. Loven for den regelmæssige Tilbagekastning. Er AC (Fig. 9) en Straale, der træffer Overfladen MN af et Legeme, som tilbagekaster Lyset regelmæssigt, gjælde følgende to Love for Tilbagekastningen.

1) Den tilbagekastede Straale BC ligger i det Plan, der dannes af den indfaldende Straale AC og Indfaldsloddet NC, hvorved vi forstaa en Linie, der er vinkelret paa det Fladeelement, der træffes af Lysstraalen.

Fig. 9.



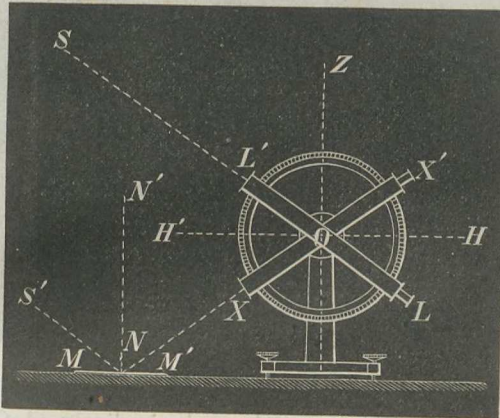
2) De Vinkler, den indfaldende og tilbagekastede Straale danne med Indfaldsloddet, ere lige store.

Den første af disse Vinkler kaldes Indfaldsvinklen, den anden Udfalds- eller Tilbagekastningsvinklen.

Disse Love kunne godtgjøres ved Forsøg ved Hjælp af en Kikkert, der kan drejes om en vandret Axe O, som gaar igjennem Midtpunktet af en lodret, inddelt Cirkelring. Man stiller først Kikkerten i Retningen LL' (Fig. 10), saa at man ser en eller anden Stjerne i Midten af dens Felt. Dernæst drejes den hurtig om O, til man i Retningen X'X ser et Spejlbillede af samme Stjerne paa samme Sted i Kikkerten i en saakaldet »kunstig Horizont«, MM', hvorved man forstaaer en Kvægsølvoverflade, der som alle frie Vædskeoverflader altid er vandret. Da vi gennem XX' kun se Stjernen

ved det Lys, der kastes tilbage fra MM' , maa Kikkertens Retning her falde sammen med den tilbagekastede Straale

Fig. 10.



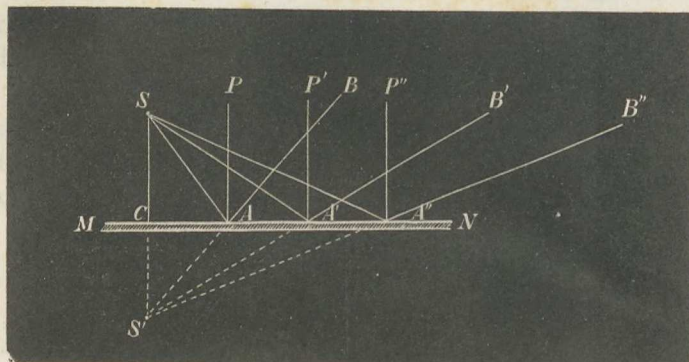
NX. Er nu $S'N$ den indfaldende Straale, maa denne paa Grund af Stjernens overordenlig store Afstand være parallel med Straalen SL' , der fra Stjernen direkte gaar ind i Kikkerten, eller med dennes første Retning LL' . Den indfaldende og tilbagekastede Straale maa altsaa begge ligge i det Plan, hvori vi have drejet Kikkerten, og da dette er lodret, maa det ogsaa indeholde Indfaldsloddet NN' , der her er en lodret Linie. Endvidere viser Aflæsningen paa den inddelte Cirkelring, at den lodrette Linie OZ halverer Vinklen mellem LL' og XX' , følgelig er ogsaa $\angle S'NN' = \angle N'NX$ eller Indfaldsvinklen lige stor med Tilbagekastningsvinklen.

16. Billeddannelse i plane Spejle. Ethvert Legeme, der tilbagekaster Lyset regelmæssigt, kaldes et Spejl. Man inddeler disse efter Overfladens Form i plane, sfæriske, paraboliske o. s. v.

Lad MN (Fig. 11) forestille Overfladen af et plant Spejl og S et Straalepunkt. En Lysstraale SA vil da tilbagekastes i Retningen AB efter de ovenfor fremsatte Love. Forlænge vi Retningen af den tilbagekastede Straale bag ved Spejlet,

til den skærer den fra S paa MN nedfældte vinkelrette Linie i S', bliver $\triangle SAC \cong \triangle S'AC$. CA er nemlig en

Fig. 11.



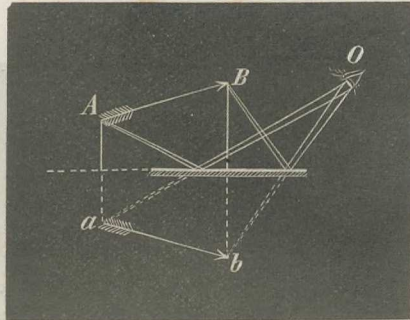
fælles Side, Vinklerne ved C ere begge rette, og $\angle SAC = \angle BAN = \angle CAS'$. SC er altsaa lig med CS' . Hvad der her gjælder for Straalen BA's Forlængelse, gjælder ogsaa for enhver anden tilbagekastet Straale $A'B'$, $A''B''$. Vi uddrage altsaa heraf den vigtige Sætning, at alle Straaler, der udgaa fra et Straalepunkt, tilbagekastes af et plant Spejl, som om de udgik fra et og samme Punkt, der ligger i den vinkelrette Linie, som fra Straalepunktet nedfældes paa Spejlet, ligesaa langt bag ved Spejloverfladen som Straalepunktet ligger foran samme.

Holde vi altsaa Øjet saaledes, at det modtager de tilbagekastede Straaler, vil det paavirkes ganske paa samme Maade, som om S' var et virkeligt Straalepunkt. Vi se derfor i S' et Billede af S. Da det her kun er Retningen af Straalerne, men ikke disse selv, der skære hinanden i S' , kaldes Billedet indbildt (virtuelt) i Modsætning til de virkelige Billeder, der dannes, hvor Straalerne have et virkeligt Foreningspunkt.

Have vi i Stedet for et Straalepunkt en Gjenstand AB (Fig. 12), kunne vi Punkt for Punkt konstruere dens Billede

ab ved fra Gjenstandens enkelte Punkter at nedfælde vinkelrette Linier paa Spejloverfladen eller dennes Forlængelse og forlænge disse ligesaa langt bagved denne, som de tilsvarende Punkter af Gjenstanden ligge foran samme.

Fig. 12.



Af denne Konstruktion følger, at Billederne i de plane Spejle ere symmetriske med deres Gjenstande, idet Spejloverfladen er Symmetri-fladen. Den Vinkel, en Gjenstand og dens Billede danne med hinanden, er altsaa dobbelt saa stor, som den de begge danne med Spejlet. Billedet af en lodret Gjenstand vil altsaa være vandret i et Spejl, der danner en Vinkel paa 45° med Horisonten.

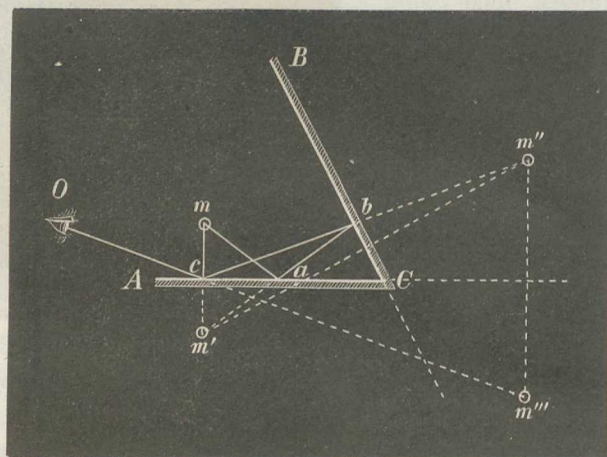
Betingelsen for, at en Gjenstand kan spejle sig i et Spejl, er blot den, at Gjenstanden ligger foran Spejloverfladen eller dennes Forlængelse, thi kun ved en saadan Beliggenhed kan et Legeme altid sende Straaler til Spejlet. Men for at man skal kunne se Billedet, maa Øjet O (Fig. 12) befinde sig paa et saadant Sted, at Straalekeglerne oa og ob fra Billedets yderste Punkter til Øjeaabningen skære Spejloverfladen; disse Straalers Skæringspunkter med denne bestemme da den Del af Spejlet, hvorfra Straalerne kastes ind i Øjet.

17. Straaler, der ere kastede tilbage fra et Planspejl, kunne atter kastes tilbage fra et andet, og i dette vil der saaledes dannes et nyt Billede, der kan betragtes som Spejl-billedet af Billedet i det første Spejl. Da nemlig Straalerne fra m (Fig. 13) tilbagekastes af Spejlet AC, som om de kom fra m's Billede m', ville de træffe Spejlet BC paa samme Maade, som om m' var en virkelig Gjenstand, og Tilbagekastningen fra BC finder da Sted, som om Straalerne kom fra et Punkt m'', der ligger ligesaa langt bag ved BC, som m' ligger

foran samme. Paa lignende Maade vil m'' danne et Spejl-billede m''' i A C.

Billedet i et Spejl forholder sig altsaa som en virkelig Gjenstand, der kan spejle sig i et andet Spejl, og Spejl-billedet

Fig. 13.



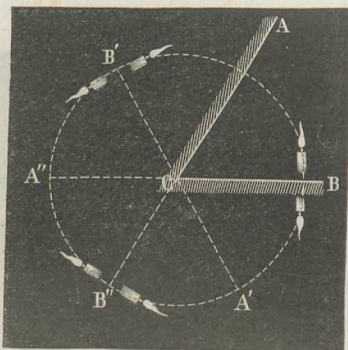
i dette kan da atter spejle sig i det første Spejl o. s. v. Men det maa her bemærkes, at Billedet ligesaa vel som Gjenstanden maa befinde sig foran den spejlende Flade eller dennes Forlængelse, for at dets Spejl-billede skal kunne danne sig. Kun Gjenstanden kan være foran begge Spejlene, ethvert af Billederne maa være bagved mindst en af Spejl-fladerne, og Billeddannelsen hører op med det Billede m''' , som falder bagved dem begge. Holdes Øjet i o, ser det Billedet m''' ved tre Tilbagekastninger, nemlig i a, b og c.

Da ethvert Punkt i et plant Spejls Overflade ligger lige langt fra Gjenstanden og dens Billede, vil ethvert Punkt i to plane Spejles Skæringslinie ligge lige langt fra Gjenstanden og alle de Billeder, der dannes ved enkelte og gentagne Tilbagekastninger. De tilsvarende Punkter af en Gjenstand og dens Billeder i to plane og ikke parallelle Spejle ligge altsaa alle i en Cirkelomkreds, hvis Midtpunkt falder i Spejlenes Skæringslinie.

Hosstaaende Tegning (Fig. 14) viser Billedet af et Lys i to Spejle AC og BC, der danne en Vinkel paa 60° med hinanden. Billedet ved B

Fig. 14.

mellem A' og B dannes ved en Tilbagekastning i BC; dette Billede spejler sig atter i AC ved B' mellem A'' og B', og af dette sidste Billede dannes atter et i BC ved B'' mellem dette Punkt og A''. Paa lignende Maade dannes de øvrige Billeder ved 1, 2 og 3 Tilbagekastninger i AC ved B' mellem B' og



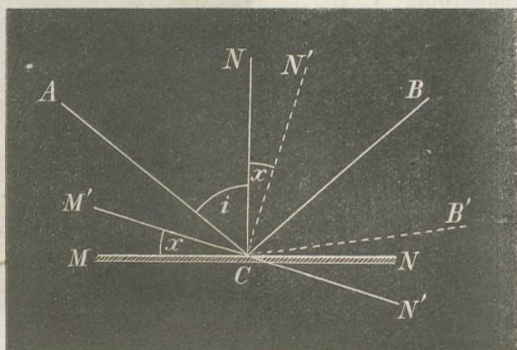
A, i BC ved B'' mellem B'' og A' og endelig i AC ved B''' mellem B''' og A''; dette sidste Billede falder sammen med det sidst omtalte i den første Række Billeder. Antallet af Billeder er tilligemed Gjenstanden her sex, og det vil i Almindelighed være n, naar den Vinkel, de to Spejle danne med hinanden, gaar n Gange op i 360° , og n er et lige Tal. Gjør man derimod Vinklen lidt større eller lidt mindre, falde de to Billeder, hvormed Rækkerne slutte, ikke længere sammen til et. Paa Vinkelspejle grunder Kalejdoskopet sig.

To parallelle Spejle give et ubegrændset Antal Billeder af en Gjenstand, men hvormange af disse man ser, afhænger af Øjets Stilling; tilmed tabe Billederne i Klarhed ved hver ny Tilbagekastning, ligesom ogsaa deres tilsyneladende Størrelse formindskes.

18. Drejes et Planspejl MN (Fig. 15) en Vinkel x om en Axe C, vinkelret paa Indfaldsplanet, vil den tilbagekastede Straale drejes en dobbelt saa stor Vinkel. Er nemlig Indfaldsvinklen før Drejningen i, bliver den indfaldende Straale AC's Vinkel med den tilbagekastede CB 2i. Drejes nu Spejlet Vinklen x, beskriver Indfaldsloddet CN den samme Vinkel i Indfaldsplanet, og i Spejlets nye Stilling M'N'

bliver Indfaldsvinklen altsaa $i + x$; den Vinkel ACB' , den tilbagekastede Straale CB' danner med AC , bliver altsaa

Fig. 15.



$2(i + x)$, Vi have følgelig $\angle BCB' = \angle ACB' - \angle ACB = 2(i + x) - 2i = 2x$.

Er altsaa A et Straalepunkt, vil dets Billede ved Spejlets Drejning beskrive en Cirkelbue med C som Centrum og AC som Radius, hvilken Bues Grademaal er dobbelt saa stor som den Vinkel, Spejlet er drejet. En lille Drejning kan saaledes let iagttages ved Billedets Forflytning. Af den Grund anbringer man ofte plane Spejle paa Magnetnaale, hvorved en lille Forandring i deres Stilling let kan iagttages.

19. De ældste Spejle bestode af polerede Metalplader. Man bruger saadanne endnu af en Legering af 100 Dele Kobber og 46 Dele Tin. Spejle af denne Sammensætning ere i Stand til at antage en fortrinlig Politur; men de ere kostbare og anløbe let i Luften. I den nyeste Tid, da man har lært at overtrække Legemer med et overordenlig tyndt Metallag, bruger man ogsaa at udfælde en tynd Platin- eller Sølvhinde paa en vel tilsleben Glasplade. I de almindelige saakaldte Glasspejle er Spejloverfladen en Legering af Tin og Kvægsølv, der ved Glasset er beskyttet mod ydre Paavirkning; disse Spejle have imidlertid den Fejl, at de give dobbelte Billeder,

fordi ikke alene den bageste, men ogsaa den forreste Side virker spejlende.

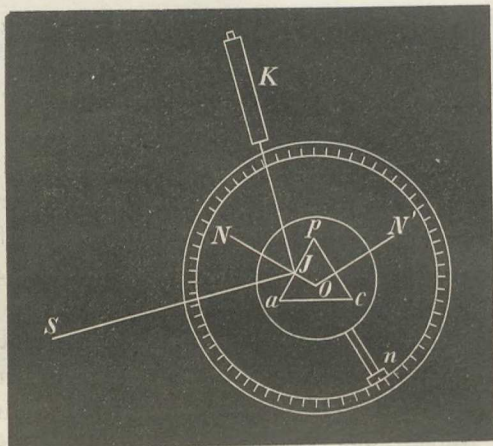
Mængden af det regelmæssig tilbagekastede Lys afhænger af Indfaldsvinklen, idet der tilbagekastes mere Lys under store Indfaldsvinkler end under smaa. Dette er fornemmelig Tilfældet ved ikke metalliske Overflader. Holder man en ubelagt Glasplade op for Øjet saaledes, at de tilbagekastede Straaler, det modtager, danne meget smaa Vinkler med Glaspladen, virker denne ganske som et Spejl. Holder man derimod Glasset saaledes, at de tilbagekastede Straaler, der træffe Øjet, danne meget store Vinkler med Overfladen, ser man i Reglen intet Spejlbillede, fordi Mængden af det tilbagekastede Lys, naar det ikke udsendes fra en meget stærk Lysgiver, er langt mindre end det, der er gaaet igjennem, hvorfor man ogsaa i dette Tilfælde ser igjennem Glasset. Stiller man sig ved Bredden af en stille Sø, kan man af ovennævnte Aarsag kun se Bunden tæt ved Landet; længere ude virker Søens Flade som et Spejl.

II. Instrumenter, grundede paa Lysets Tilbagekastning fra plane Spejle.

20. Goniometeret er et Instrument, der bruges til at maale Vinklen mellem plane Flader, f. Ex. mellem to Krystallflader eller Siderne i et Prisme. Krystallen eller Prismet opstilles paa Enden af en Axe saaledes, at Kanten p (Fig. 16) mellem de to Flader, hvis Vinkel skal maales, er parallel med denne. Man betragter da gjennem en Kikkert K Spejlbilledet i Fladen ap af en fjern smal Gjenstand som en Vinduesprosse, Kanten af en Mur eller en lignende Ting. Axen og Kanten p stilles saaledes, at de ere parallelle med Spejlbilledet. Dernæst drejes Axen med Prismet, til man paa samme Sted i Kikkerten ser Billedet i Fladen pc. Straalerne maa da tilbagekastes i samme Retning som tidligere, saa at Indfaldsloddet ON' efter Drejningen falder sammen eller er parallel med Indfaldsloddet ON i Prismets første Stilling. Dette er

altsaa blevet drejet $\angle NON' = 180^\circ - \angle p$; følgelig haves $\angle p = 180^\circ - \angle NON'$. Den Vinkel, Fladerne danne med

Fig. 16.



hinanden, er altsaa Supplementvinkel til den, Prismet eller Krystallen er blevet drejet. Denne maales ved en Nonius n , der er fastgjort til Axen, og som, naar denne drejes, glider langs med Omkredsen af en inddelt Cirkelring, hvis Centrum falder i Axen.

21. Sextanten. Dette Instrument, der bruges til at maale Synsvinklen mellem to Punkter, grunder sig paa den Sætning, at en Lysstraale, der er bleven kastet tilbage fra to plane Spejle, med sin oprindelige Retning danner en Vinkel, der er dobbelt saa stor som den, Spejlene danne med hinanden.

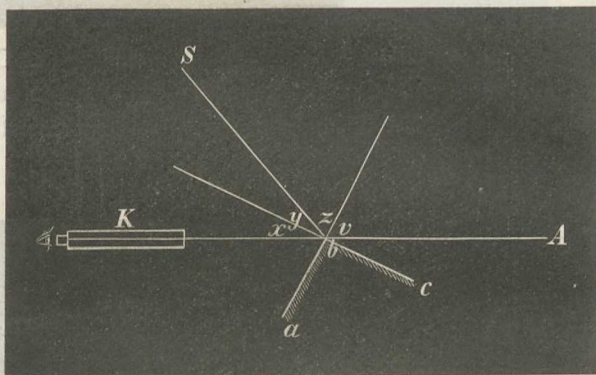
Lad nemlig (Fig. 17) LC være en Lysstraale, der i C kastes tilbage fra Spejlet S_1S_1 i Retningen CB , og af det andet Spejl S_2S_2 tilbagekastes anden Gang i B efter Retningen BO ; forlænges LC , til den skærer BO i O , haves $\angle s = 2i - 2i'$, idet NC og $N'B$ ere Indfaldslodderne. Paa den anden Side er den Vinkel, Spejlene danne med hinanden, $\angle a = 90^\circ - i' - (90^\circ - i) = i - i'$. Følgelig $s = 2a$.

drejes, for at Spejlet C kan blive parallel med det faste Spejl. Paa Bue BA er der afsat dobbelt saa mange Grader, som denne udgjør, saa at man ligefrem kan aflæse den søgte Synsvinkel.

Udsnittet udgjør i Almindelighed 60° , hvoraf Instrumentet har faaet sit Navn. Saadanne Reflektionsinstrumenter bruges navnlig tilsøs til Bestemmelsen af Stjernernes og Solens Højde.

22. Gauss' Heliotrop bruges til at give Signaler paa lang Afstand ved Hjælp af Sollys. Instrumentet bestaar af to plane Spejle ab og bc (Fig. 19), der danne en ret Vinkel

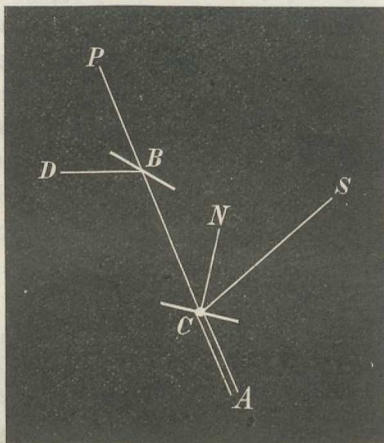
Fig. 19.



med hinanden og vende den spejlende Flade udad. Kikkerten K er stillet saaledes, at man gennem denne dels kan se over Spejlenes Kant til det Sted, hvorhen man vil signalisere, og dels i det mod K vendte Spejl ab. Vil man nu afsende et Signal, indstilles Spejlene saaledes, at man gennem Kikkerten i ab ser et Billede af Solen; det andet Spejl bc vil da kaste Solstraalerne tilbage i den Retning, mod hvilken Kikkerten er stillet. Lad nemlig Sb være en Solstraale, saa vil denne af ab kastes tilbage i Retningen bK og af bc i Retningen bA. Forlænges ab og cb, bliver $x = y$ og $z = v$; men $y + z = 90^\circ$, altsaa $x + y + z + v = 180^\circ$. Solstraalerne kastes folgelig af bc tilbage i den Retning, hvorefter Kikkerten er stillet.

23. Heliostaten. Ved Anvendelsen af Solstraaler til optiske Forsøg virker ofte Solens Bevægelse ved dens daglige Omdrejning paa Himlen forstyrrende. Man maa i saa Tilfælde bruge en Heliostat, hvorved Solstraalerne gives en vilkaarlig, men fast Retning, der ikke paavirkes af Solens Bevægelse paa Himlen. Dette kan opnaas paa flere Maader. Simplest sker det ved et plant Spejl, der ved Hjælp af et Urværk drejes om en med Verdensaxen parallel Axe i samme Retning og med samme Hastighed som Solen, altsaa en Gang rundt i 24 Timer. Lad der ved C (Fig. 20) være et saadant Spejl fastgjort til CA, der er rettet mod Verdenspolen. Er nu

Fig. 20.



Spejlet, der tillige kan drejes om Axen C, som er vinkelret paa CA, indstillet saaledes, at Indfaldsloddet CN halverer Vinklen mellem Linien til Solen og Verdensaxen, vil folgelig en Solstraale SC kastes tilbage i Retning CP mod Verdenspolen. Sættes dernæst Uret i Gang, vil Planet NCP dreje sig saaledes om CP, at det stadig kommer til at indeholde Solen, og da CN halverer den Storcirkelbue paa Himlen, der ligger mellem Solen og Verdenspolen, ville Solstraalerne stadig tilbagekastes mod dette Punkt. I B opfanges de tilbagekastede Straaler af et andet Planspejl, og af dette blive de da tilbagekastede i den attraaede Retning BD.

III. Lysets Tilbagekastning fra krumme Flader.

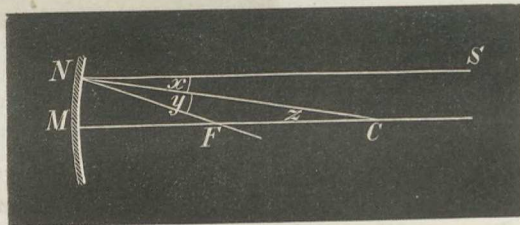
24. Hulspejle. Er den spejlende Overflade krum, tilbagekastes Lyset fra hver enkelt Del af Overfladen efter samme Love som de, der gjælde for plane Spejle, idet vi ved

Indfaldsloddet forstaa en Linie, der er vinkelret paa Tangentplanet til det Punkt, der træffes af Lysstraalen. Vi ville her kun betragte Tilbagekastningen fra Kuglespejle. De Kuglespejle, der benyttes i Optiken have Form af en Kuglekalot, hvis Overflade altid er meget lille i Forhold til hele den Kugleflade, hvorefter den udgjør en Del. Er den indvendige Overflade spejlende, kaldes et saadant Spejl et Hulspejl.

Ved et Hulspejls Aabning forstaa vi den Vinkel, der dannes af Linien fra Kuglefladens Midtpunkt eller Krumningscentret til to diametralt modsatte Punkter af Spejlets Omkreds. En ret Linie, der er Diameter i den Cirkel, som danner Spejlets Omkreds, kaldes Spejlets Diameter. Hulspejlets Axe er den rette Linie, som gaar igjennem Kuglefladens og Spejloverfladens Midtpunkter.

25. Træffes et Hulspejl af et Bundt Straaler, parallelle med Axen MC (Fig. 21), vil Straalen CM gennem Krumnings-

Fig. 21.



centret C tilbagekastes i sig selv. En anden Straale SN kastes tilbage i det ved den selv og Radien CN bestemte Plan. Da Axen ogsaa ligger i dette, maa den tilbagekastede Straale skære denne mellem C og Spejlet. Paa Grund af Indfalds- og Tilbagekastningsvinklernes Ligestorhed, og da SN er parallel med Axen, ere de tre Vinkler x , y og z ligestore, saa at FN er lig med FC . Da Spejlets Aabning, som antaget, er meget lille, er med stor Tilnærmelse $FN = FM$, følgelig $FM = FC$. Hvad der her er vist at gjælde for Tilbagekastningen af Straalen SN, maa ogsaa finde Sted for alle andre med Axen parallelle Straaler, der træffe Spejlet i Nær-

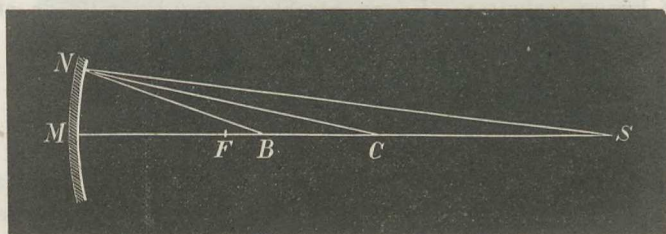
heden af M. Alle med Axen parallelle Straaler, der træffe et Hulspejl med lille Aabning, ville altsaa efter Tilbagekastningen skære hinanden i samme Punkt, der ligger i Axen midt imellem Spejlet og Krumningscentret.

Man kalder dette Skæringspunkt for de tilbagekastede Straaler Hulspejlets Brændpunkt og dettes Afstand fra Spejlet Brændvidden; denne er altsaa lige stor med den halve Radius.

Omvendt ville alle Straaler, der udgaa fra Brændpunktet eller gaa igjennem dette, efter Tilbagekastningen blive parallelle med Axen.

26. Er S et Straalepunkt i Axen (Fig. 22) udenfor Krumningscentret, vil Straalen gennem Centret SM kastes til-

Fig. 22.



bage i sin egen Retning. Da enhver anden Straale SN danner en mindre Vinkel med Radien CN end en Straale, der er parallel med Axen, maa den efter Tilbagekastningen skære denne Linie i et Punkt mellem Brændpunktet F og Krumningscentret. Det lader sig ligeledes her godtgjøre, at alle de tilbagekastede Straaler faa et fælles Skæringspunkt i Axen.

I Trekant SNB halverer nemlig CN Vinklen ved N, saa at man har:

$$\frac{SN}{NB} = \frac{SC}{CB}.$$

Men da Spejlets Aabning er meget lille, kan man sætte $SN = SM$ og $BN = BM$. Benævne vi for Kortheds Skyld

SN med a og BN med f samt CN med $r = 2p$, idet p er Brændvidden, faa vi af ovenstaaende Proportion:

$$\frac{a}{f} = \frac{a - 2p}{2p - f},$$

hvoraf: $2ap - af = af - 2pf$ eller

$$2pf + 2ap = 2af,$$

der ved Division med $2afp$ giver

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p}$$

Dette Udtryk viser, at f alene afhænger af Straalepunktets Afstand og Brændvidden, saa at altsaa alle de fra S udgaaende Straaler tilbagekastes saaledes, at de skære Axen i samme Afstand fra Spejlet. De tilbagekastede Straaler faa altsaa et fælles Skærings- eller Foreningspunkt. Endvidere viser saavel Formlen som den geometriske Betragtning, at a og f kunne ombyttes. Udgaa Straalerne fra B , ville de efter Tilbagekastningen alle forenes i S , og omvendt. Disse to Punkter kaldes derfor sammenhørende Punkter.

Saavel Formlen som en Betragtning af Figuren viser, at

$$a = \infty \text{ giver } f = p$$

$$a > 2p \quad " \quad f > \frac{p}{2}$$

$$a = 2p \quad " \quad f = 2p$$

$$a < 2p \quad " \quad f > 2p$$

$$a > p \quad " \quad f > 2p$$

$$a = p \quad " \quad f = \infty$$

$$a < p \quad " \quad f < 0$$

$$a = 0 \quad " \quad f = 0.$$

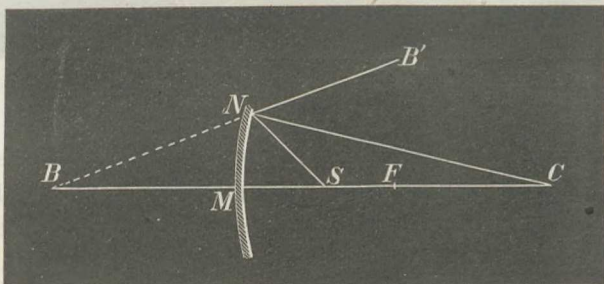
Tænke vi os altsaa Straalepunktet fra uendelig fjern Afstand nærme sig Spejlet glidende langs ad Axen, vil Foreningspunktet bevæge sig fra Brændpunktet i modsat Retning. Saalænge Straalepunktets Afstand fra Spejlet er større end den dobbelte Brændvidde, ligger Foreningspunktet mellem Brændpunktet og Krumningscentret. Er Straalepunktet i dette Punkt, falder det sammen med Foreningspunktet. Ligger Straalepunktet mellem Krumningscentret og Brændpunktet, er For-

eningspunktets Afstand fra Spejlet større end den dobbelte Brændvidde, og falder endelig Straalepunktet i Brændpunktet, bliver Foreningspunktets Afstand fra Spejlet uendelig stor, idet de tilbagekastede Straaler blive parallelle med Axen.

Vi have nu blot tilbage at undersøge Betydningen af den negative Værdi af f , eller det Tilfælde, da Straalepunktet ligger indenfor Brændpunktet.

Er som tidligere S (Fig. 23) Straalepunktet og C Krumningscentret, vil Straalen SN tilbagekastes i Retningen NB'

Fig. 23.



saaledes, at den fjerner sig fra Axen. Tænke vi os den forlænget baglænds bag Spejlet, vil den skære Axen i Punktet B . Dette Punkt bliver et indbildt Skæringspunkt for alle de tilbagekastede Straaler. Vi have nemlig, da $\angle SNC = \angle CNB'$,

$$\frac{SN}{BN} = \frac{SC}{BC}.$$

Sætte vi som ovenfor $SN = SM = a$ og $BN = BM = f$, og betegnes Brændvidden med p , kan ovenstaaende Proportion skrives:

$$\frac{a}{f} = \frac{2p - a}{2p + f},$$

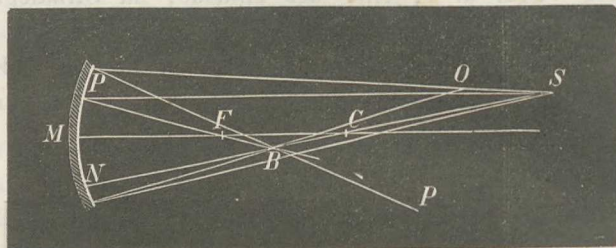
hvoraf udledes

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{f} = \frac{1}{p}.$$

Den negative Værdi for f betegner altsaa, at Foreningspunktet ligger bagved Spejlet, og at det følgelig er indbildt som ved de plane Spejle.

27. Ligger Straalepunktet S (Fig. 24) udenfor Spejlets Axe, ville de tilbagekastede Straaler forenes i Biaxen eller Linien SN , der gaar fra S gennem Krumningscentret C ; thi denne Linie har ganske den samme Betydning for et

Fig. 24.



Straalepunkt i denne, som Axen har for et Straalepunkt, der ligger i samme.

Vi kunne ved en simpel Konstruktion let bestemme Foreningspunktets Beliggenhed, eftersom det er tilstrækkeligt at kjende Skæringspunktet mellem en af de tilbagekastede Straaler og Biaxen. Vi behøve altsaa blot at drage en Linie SP parallel med Axen CM . En Straale i denne Retning vil nemlig tilbagekastes gennem Brændpunktet F , og den tilbagekastede Straales Skæringspunkt B med SN bliver da Foreningspunktet.

Vi kunde ogsaa have draget en Straale fra S gennem F . Straalen vilde da være tilbagekastet parallel med Axen og have truffet SN i B .

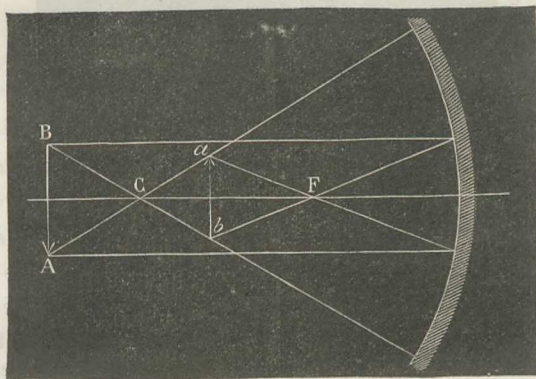
Hvis Straalepunktet ligger i Axen, kan den angivne Konstruktion ikke benyttes, men vi kunne da i dette Tilfælde blot drage en Straale, der ikke falder i Axen, og konstruere den tilbagekastede Straale efter den almindelige Lov for Tilbagekastningen. Dennes Overskæringspunkt med Axen er da Foreningspunktet.

28. Billeddannelsen ved Hulspejle. De tilbagekastede Straalers Foreningspunkt er et Billedpunkt af Straalepunktet (16); holde vi Øjet saaledes, at det modtager de fra Foreningspunktet udgaaende Straaler, vil det paavirkes

ganske paa samme Maade, som om dette var et virkeligt Straalepunkt, hvorfor der ogsaa i Foreningspunktet ses et Billede af Straalepunktet. Billedpunkterne ere imidlertid ikke synlige i alle Retninger, saaledes som Straalepunkterne. Det Lys, der fra S (Fig. 24) træffer Spejlet, vil nemlig ved at tilbagekastes til B kun fra dette udstraale i Keglen PBO, der har Spejlets Omkreds til Ledelinie, og indenfor denne Kegel maa Øjet holdes for at se Billedet.

29. Have vi i Stedet for et Straalepunkt en Gjenstand, kunne vi ifølge det nys udviklede let konstruere dens Billede.

Fig. 25.



Er nemlig AB Gjenstanden, konstrueres Billedet af A efter Reglen i 27 ved først at drage Biachsen AC og dernæst fra A en anden Straale parallel med Axen; den tilbagekastede Straale vil da gaa igjennem Brændpunktet F, og dens Over-skæringspunkt a med Biachsen bliver da A's Billedpunkt. Paa samme Maade konstrueres B's Billede b; ab bliver altsaa AB's Billede.

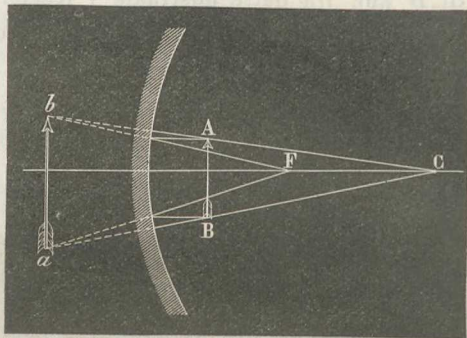
Er omvendt ab Gjenstanden, bliver AB dens Billede, eftersom Straalepunkterne og deres Billedpunkter ere sammenhørende Punkter (26).

Er Gjenstanden udenfor Brændpunktet, er Billedet altid virkeligt og omvendt.

Ligger Gjenstanden derimod indenfor Brændpunktet, bliver Billedet indbildt og opretstaaende.

Billedet konstrueres i dette Tilfælde efter de samme Regler som ovenfor saaledes, som det let ses af Fig. 26, hvor

Fig. 26.



C er Krumningscentret, F Brændpunktet, AB Gjenstanden og ab Billedet.

30. Kun naar Gjenstanden er saa lille eller saa langt borte fra Spejlet, at Afstandene fra dens forskjellige Punkter til dette kunne betragtes som lige store, bliver Billedet ligedannet med den. For dette Tilfælde kan Forholdet mellem Billedets og Gjenstandens Størrelser, der angives ved Forholdet mellem deres lineære Udstrækninger, let beregnes. Det ses nemlig ved en Betragtning af Fig. 25, at Billedet og Gjenstanden maa forholde sig til hinanden som deres Afstande fra Krumningscentret. Kaldes Størrelsen af Billedet B og af Gjenstanden G, og betegner som tidligere a Gjenstandens og f Billedets Afstand fra Spejlet samt p Brændvidden, haves altsaa: $\frac{B}{G} = \frac{2p - f}{a - 2p}$.

Af Ligningen $\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p}$ faas $f = \frac{ap}{a - p}$; indsættes denne Værdi i ovenstaaende Proportion, haves:

$$\frac{B}{G} = \frac{p}{a - p} = \frac{1}{\frac{a}{p} - 1}.$$

Er $a > 2p$, eller ligger Gjenstanden udenfor Centret, bliver Billedet mindre end Gjenstanden og ligger mellem Brændpunktet og Centrum.

Ligger Gjenstanden i den dobbelte Brændviddes Afstand fra Spejlet, eller er $a = 2p$, bliver Billedet lige stort med Gjenstanden og ligger i samme Afstand fra Spejlet som denne.

Er $2p > a > p$, eller ligger Gjenstanden mellem Krumningscentret og Brændpunktet, bliver Billedet større end Gjenstanden og ligger udenfor Centret.

For $a = 2p$ skulde efter Formlen Billedet blive uendelig stort, men der dannes i saa Fald intet, eftersom Straalerne fra de enkelte Punkter tilbagekastes parallele med de tilsvarende Biaxter.

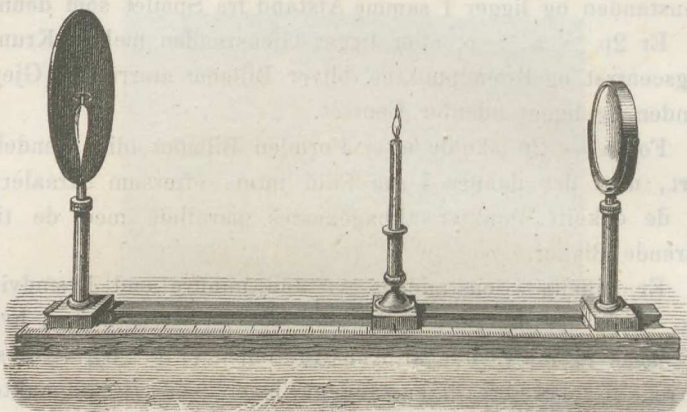
Er endelig Gjenstandens Afstand mindre end Brændvidden, bliver det indbildte Billede større end Gjenstanden, hvad der ogsaa er indlysende af Konstruktionen (Fig. 26), og desto større, jo nærmere Gjenstanden ligger ved Brændpunktet. Støder Gjenstanden umiddelbart op til Spejlet, eller er $a = 0$, bliver Billedet lige stort med Gjenstanden.

Kunne Afstandene fra de forskellige Punkter af Gjenstanden til Spejlet ikke betragtes som lige store, er Billedet altid af en mere eller mindre fortrukken Form. Tænke vi os f. Ex. en Stang liggende i Axen med det ene Endepunkt i Centret og det andet i Brændpunktet, vil Billedet af det først nævnte Punkt falde sammen med dette, medens Billedet af det andet Yderpunkt skulde ligge uendelig langt borte, saa at det slet ikke dannes.

31. De virkelige Billeder kunne opfanges paa Skærme. Opstiller man saaledes i et mørkt Værelse et tændt Lys foran et Hulspejl i en Afstand fra samme, der er større end den dobbelte Brændvidde, og holder man en lille Skærm mellem Brændpunktet og Centrum, vil der paa et bestemt Sted mellem disse Punkter paa Skærmen vise sig et formindsket og omvendt Billede af Lysflammen. Stilles denne mellem Brændpunktet og Centrum, maa Skærmen flyttes udenfor dette Punkt for at opfange Billedet, der her bliver omvendt og forstørret

(Fig. 27). Opstilles Hulspejlet, Lyset og Skærmen paa en Maalestok, kan man ved at aflæse Afstandene fra Spejlet til Lyset og Skærmen, naar denne er stillet saaledes, at Billedet viser sig saa skarpt som muligt, let bestemme Spejlets Brænd-

Fig. 27.

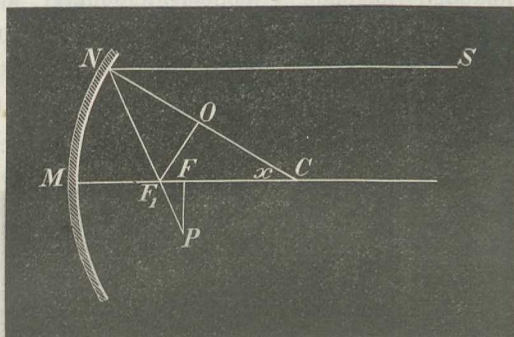


vidde ifølge Formlen $\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p}$. Saadanne Forsøg tjene tilmed til at godtgjøre Formlens Rigtighed. Stiller man nemlig Lyset i forskellige Afstande, maa Skærmen ogsaa flyttes, og man finder da altid, at $\frac{1}{a} + \frac{1}{f}$ er en konstant Størrelse.

32. Den sfæriske Afvigelse. De ovenfor udviklede Love for Tilbagekastningen fra Hulspejle ere, som vi have anført det, kun tilnærmelsesvis gjældende, idet de tilbagekastede Straaler ikke nøjagtig forenes i et Punkt. For parallelt indfaldende Straaler er Afvigelsen, den sfæriske Aberration, let at beregne. Er (Fig. 28) SN en Straale, parallel med Axen, og som træffer Spejlet i Nærheden af Randen, vil den tilbagekastede Straale skære Axen i et Punkt F_1 , der ligger mellem Brændpunktet F og Spejlet. Nedfældes $F_1O \perp$ Radien NC, har man $F_1C = \frac{CO}{\cos x} = \frac{r}{2\cos x} = \frac{p}{\cos x}$, hvor r og p have samme Betydning som tidligere. Kun de med Axen

parallelle Straaler, der træffe Spejlet i samme Afstand fra M, ville altsaa efter Tilbagekastningen nøjagtig skære hinanden i samme Punkt. Jo nærmere de indfaldende Straaler ligge ved Axen, i desto kortere Afstand ligge Foreningspunkterne fra Brændpunktet.

Fig. 28.



F_1F eller Afstanden fra de tilbagekastede Randstraalers Foreningspunkt til Brændpunktet, kaldes Længdeafvigelsen.

Betegnes denne ved l , haves $l = F_1C - p = \frac{F}{\cos x} - p = p \frac{1 - \cos x}{\cos x}$.

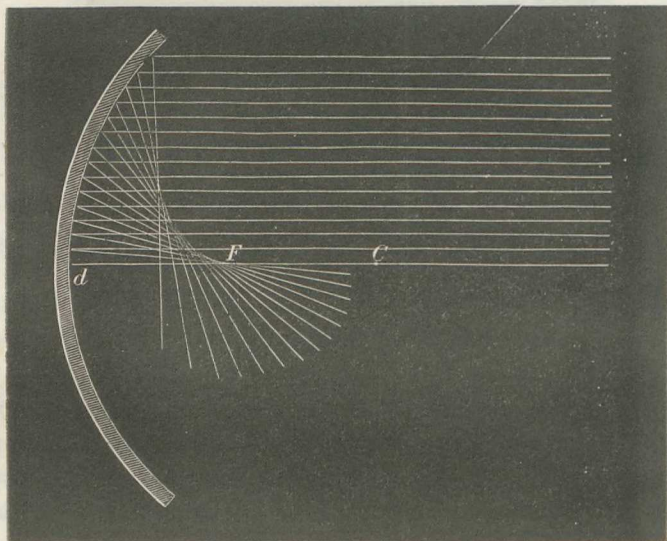
Alle de tilbagekastede Straalers Foreningspunkter i Axen ville altsaa ligge i Linien F_1F , og fra disse udbrede Straalerne sig kegleformig. Holdes en Skærm i F vinkelret paa Axen, vil den af de tilbagekastede Straaler belyses i en lille Cirkel, hvis Radius FP kaldes Sideafvigelsen. Benævnes denne med s , har man $s = l \tan 2x$.

Af Formlerne ses det, at saavel l som s ere meget smaa, naar Spejlets Aabning er ringe. Det er navnlig Sideafvigelsen, der bevirker, at Billederne ikke blive fuldkommen skarpe, fordi de forskjellige Punkters Billeder ere smaa Cirkler, saa at Nabopunkternes Billeder delvis komme til at dække hinanden. Denne Mangel paa Skarphed hæves dog for en Del derved, at Lyset i Billedfladen er meget uregelmæssigt fordelt,

idet det er stærkest i Midten og aftager hurtig mod Randen, saa at Øjet kun iagttager den centrale Del.

33. Ved Spejle med stor Aabning ville de tilbagekastede tæt ved Siden af hinanden liggende Straaler to og to skære hinanden i Punkter, der ere desto længere borte fra Axen, jo nærmere de indtrædende Straaler ligge ved Randen. De paa hinanden følgende Gjennemsnitspunkter af de tilbagekastede Nabostraaler danne tilsammen en krum Flade, den saakaldte Brændflade, der er stærkere belyst end den omliggende Del. Fig. 29 forestiller Gjennemsnittet af et Hul-

Fig. 29.



spejl med stor Aabning ved et Plan gennem Axen. De indfaldende Straaler ere her tænkte parallelle med Axen. Brændfladens Overskæring med det omtalte Plan viser sig som en lysende Linie, Brændlinien, der tangeres af alle de i Planet tilbagekastede Straaler. En saadan Brændlinie viser sig meget tydelig paa et Brædt, naar man paa et saadant opstiller en blank Staal fjeder af Form som en Halvcirkel, og udsætter den hule Side for Solstraalerne. Derimod kan man,

naar Brædtet borttages, ikke se hele Brændlinien som en i Luften svævende Linie, men kun enkelte Punkter af samme. Holder man f. Ex. Øjet i Axen, ser man kun den Del af Brændlinien, der indeholder Brændpunktet, fordi Straalerne fra de øvrige Punkter gaa udenom Øjet. Flytter man dette, faar man efterhaanden de enkelte Dele af Brændlinien at se, men paa en Gang kun en lille Del af samme, fordi Straalekeglerne fra dens enkelte Punkter ere saa smalle, at de kun træde ind i Øjet, naar dette holdes i deres Axe.

Det er af den omtalte Grund, at de frit svævende Billeder altid vise sig skarpere end de, der opfanges af Skærme, eftersom Øjet kun modtager Lys fra en lille Del af den Brændflade, der dannes af de Straaler, der fra hvert enkelt Punkt af Gjenstanden sendes til Spejlet. Flytter man derfor Øjet noget, synes det frit svævende Billede ogsaa at flytte sig lidet.

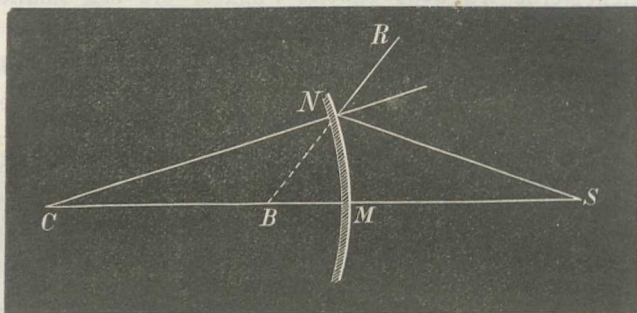
Kun ved parabolske Spejle ville de med Parablens Axe parallelle Straaler efter Tilbagekastningen nøjagtig forenes i samme Punkt, Parablens Brændpunkt; hvad der følger af den Egenskab ved en Parabel, at Normalen til et Punkt halverer Vinklen mellem Brændstraalen til dette og en gennem samme gaaende Linie parallel med Axen.

34. Hulspejlenes Anvendelse. Hulspejlene bruges i Spejlkikkerter, hvor man ved et Hulspejl frembringer et Billede af den Gjenstand, man vil betragte, hvilket Billede da ses gennem et Forstørrelsesglas. Man benytter endvidere disse Spejle, naar en Gjenstand skal stærkt belyses. Ofte bruges Hulspejle til Fyr, idet en Lampefflamme anbringes i Brændpunktet af et saadant, hvorved Straalerne kastes tilbage i en Cylinder i Stedet for at spredes, saa at det Lystab, der foraarsages ved Spredning, undgaas. Skal Lyset ses i alle Retninger, maa der bruges flere i en Rundkreds stillede Spejle, der hver fordrer sin Lampe.

35. Konvekse Spejle. Et konvex Spejl er et Kuglespejl, hvis udvendige Side er spejlende. Ogsaa ved saadanne dannes der Billeder, men disse ere alle indbildte.

Er S (Fig. 30) et Straalepunkt, vil Straalen SN tilbagekastes efter NR, og tænkes den forlænget bag ved Spejlet, vil den overskære Axen, der her har samme Betydning som ved Hulspejlene, i et Punkt B. Det lader sig nu godtgjøre, at alle de fra S udgaaende Straaler, naar Spejlets Overflade er lille, efter Tilbagekastningen ville faa et indbildt For-

Fig. 30.



eningspunkt i B. (Drages nemlig Radien CN, faar man, idet $\angle RNS$ halveres af Radien: $\frac{BN}{NS} = \frac{CB}{CS}$, og sættes ligesom ved Hulspejlene med Tilnærmelse $BN = BM = f$ og $NS = SM = a$, samt betegnes Radien ved r , kan ovenstaaende Proportion skrives: $\frac{f}{a} = \frac{r - f}{a + r}$, hvorefter $af + rf = ar - af$ eller $rf - ar = -2af$. Divideres dette Udtryk med arf , faas

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{f} = -\frac{2}{r} = -\frac{1}{p}.$$

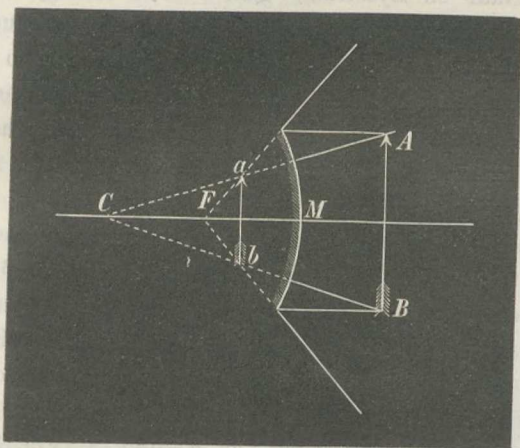
Denne Ligning kan faas af den, der udtrykker Loven for Straalernes Tilbagekastning fra Hulspejle (26) ved at gjøre f og p negative, hvorved betegnes, at saavel Billedpunktet som Brændpunktet ere indbildte.)

Er $a = \infty$, bliver $f = p$; naar a aftager, aftager ogsaa f . Det indbildte Billedpunkts Afstand fra Spejlet kan altsaa aldrig overskride Brændvidden.

Billedet af en Gjenstand konstrueres ganske paa samme Maade som ved Hulspejlene. Er AB (Fig. 31) Gjenstanden,

drages Straalen AC gennem Centret og en Straale fra A parallel med Axen; denne sidste Straale vil da tilbagekastes saaledes, at den forlænget baglænds gaar gennem Brændpunktet F. Billedet af A bliver da a; paa lignende Maade findes B's Billede b. Billederne ved de konvexe Spejle blive altid oprette og, som Konstruktionen viser det, mindre end Gjenstanden.

Fig. 31.



36. Den uregelmæssige Tilbagekastning. Fra ru Overflader tilbagekastes de enkelte Straaler ogsaa efter de samme Love som fra spejlende; men er Overfladen ikke glat, danne de forskjellige ved Siden af hinanden liggende Elementer af samme alle mulige Vinkler med Horizonten, og som Følge heraf ville parallelt indfaldende Straaler og saadanne, der komme fra samme Straalepunkt, blive tilbagekastede i alle mulige Retninger, saa at der ikke dannes noget virkeligt eller indbildt Foreningspunkt, hvorimod selve det Legeme, hvorfra Tilbagekastningen finder Sted, bliver synligt.

Tredie Kapitel.

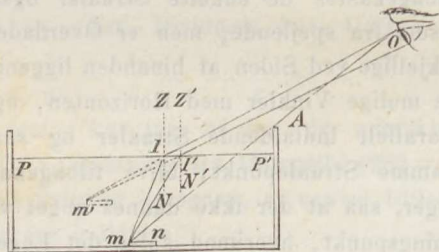
Lysets Brydning.

I. Brydningsloven. — Brydning gennem plane Flader.

37. Naar en Lysstraale gaar over fra et gjennemsigtigt Legeme til et andet, forandrer den i Almindelighed pludselig sin Retning eller brydes i Grændsefladen mellem de to Legemer og vedbliver dernæst i det andet Legeme at beholde sin nye Retning, forudsat at dette overalt har samme Tæthed. Kun naar Lysstraalen falder vinkelret ind mod Overfladen, finder der ingen Brydning Sted.

Naturen viser os daglig mange Brydningsfænomener; Gjenstandene under Vandet ses saaledes paa Grund af Brydningen aldrig paa deres sande Plads og ofte under en Form, der er meget forskjellig fra deres virkelige. Stikker man f. Ex. Enden af en Stok ned i Vandet, ser det ud, som om denne var brækket i Vandfladen. Lægger man et Pengestykke i et Kar, og holder man Øjet saaledes, at Kanten A (Fig. 32) netop

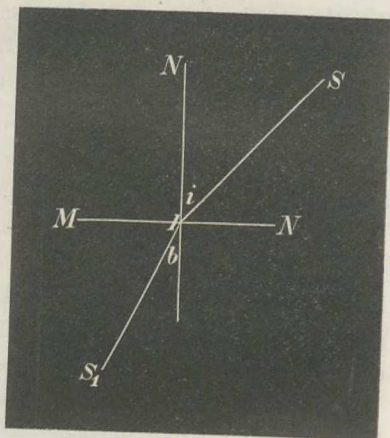
Fig. 32.



have en Retning, som om de udgik fra sidstnævnte Punkt, skjøndt de i Virkeligheden komme fra m . Vi maa altsaa heraf slutte, at de Straaler, der udsendes til Øjet fra m , ved deres Overgang fra Vandet til Luften i I og I^1 blive brudte, og i dette Tilfælde maa de i Vandet danne mindre Vinkler med Indfaldsloddene ZN og ZN^1 end i Luften, idet vi her som ved Lysets Tilbagekastning ved Indfaldsloddet forstaa en Linie vinkelret paa Grændsefladen mellem de to Legemer i det Punkt, hvor denne træffes af en Lysstraale.

38. Lovene for Brydningen. Er altsaa MN (Fig. 33) Grændsefladen mellem to gjennemsigtige Legemer og SI en indfaldende Straale, vil den i det andet Legeme antage en anden Retning IS_1 . Den Vinkel, SI danner med Indfaldsloddet NI , kaldes Indfaldsvinklen; den Vinkel, den brudte Straale IS_1 danner med samme Linie, kaldes Brydningsvinklen.

Fig. 33.



For Lysets Brydning gjælde følgende Love:

1) Den indfaldende og brudte Straale samt Indfaldsloddet ligge alle tre i samme Plan.

2) Forholdet mellem sinus til Indfalds- og sinus til Brydningsvinklen er konstant for Brydningen mellem de samme to Legemer.

Kaldes altsaa Indfaldsvinklen i og Brydningsvinklen b , haves $\frac{\sin i}{\sin b} = n$, hvor n er konstant for de samme to Legemer. Er $i = 0$, eller falder Straalen vinkelret ind mod Overfladen, bliver ogsaa $b = 0$: Straalen gaar ubrudt igjennem.

Det omtalte konstante Forhold kaldes Brydningsforholdet mellem de to Legemer. Er Brydningsforholdet større end 1, er Brydningsvinklen mindre end Indfaldsvinklen, og omvendt. Er Brydningsforholdet lig med 1, brydes Lyset altsaa ikke. Jo nærmere Brydningsforholdet ligger ved Enheden, desto mindre bliver Lyset brudt. Man nævner altid det Legeme først, hvorfra Lyset regnes at komme. Det Legeme, i hvilket Straalen danner den mindste Vinkel med Indfaldsloddet, siges at være det stærkest brydende.

Ved et Legemes absolute Brydningsforhold forstaar man Værdien af Brydningsforholdet, naar Lyset træder ind i Legemet fra det lufttomme Rum. For Luftens Vedkommende er det absolute Brydningsforhold meget nær Enheden, nemlig 1,00029. Naar det ikke særlig fremhæves, ville vi i det følgende ikke gjøre nogen Forskjel mellem et Legemes absolute Brydningsforhold og Brydningsforholdet mellem Luften og Legemet.

I Reglen bryder et Legeme Lyset desto stærkere, jo større dets Tæthed eller Vægtfylde er. Saaledes bryder Glas Lyset stærkere end Vand; Vand er langt stærkere lysbrydende end Luften; jo større Luftens Tæthed er, desto mere bryder den Lyset. Reglen har dog flere Undtagelser. Saaledes bryder Vinaand og Olierne Lyset mere end Vand, skjøndt deres Vægtfylde er mindre end dettes.

39. Ved Lysets Brydning dannes der Billeder af Gjenstandene. Forestiller saaledes A (Fig. 34) et Straalepunkt i Vand, vil Straalen AC ved at træde ud i Luften brydes fra Indfaldsloddet i Retningen CE. En anden Straale AB, der ligger nær ved AC, vil træffe Indfaldsloddet under en noget mindre Vinkel end AC; den vil derfor ved at træde ud i

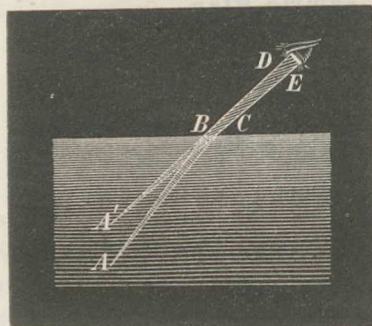


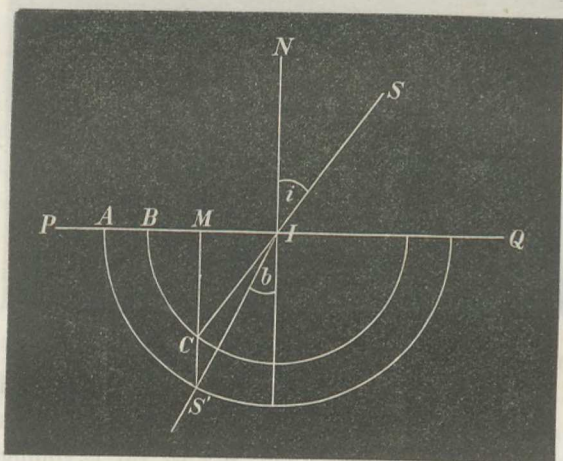
Fig. 34.

Luften i Retningen BD ogsaa danne en mindre Vinkel med

Indfaldsloddet end CE. De udtrædende Lysstraaler ville derfor have en Retning, som om de udgik fra BD og CE's Skæringspunkt A', og dette Punkt bliver saaledes et indbildt Billede af A.

40. Konstruktion af den brudte Straales Retning. Er SI (Fig. 35) den indfaldende Lysstraale, PQ Grændsefladen mellem de to gjennemsigtige Legemer og n Brydningsforholdet, drages om I som Centrum i Indfaldsplanet SIN to Halvcirkler, hvis Radier IA og IB forholde sig som n : 1.

Fig. 35.



Gaar Lyset over til et stærkere brydende Legeme, forlænges den indfaldende Straale til den i C skærer den indre Cirkel, og fra dette Punkt nedfældes Linien CM vinkelret paa PQ. Fra Indfaldspunktet drages dernæst en Linie IS' til CM's Skæringspunkt med den ydre Cirkel; IS' vil da være den brudte Straales Retning. Vi have nemlig $IM = IC \sin \angle ICM$

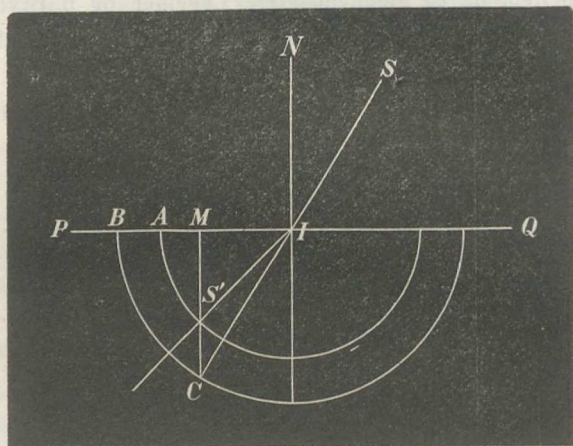
$= IS' \sin \angle IS'M$, følgelig $\frac{\sin \angle ICM}{\sin \angle IS'M} = \frac{IS'}{IC} = n$. Men tillige

har man $\angle ICM = i$ og $\angle IS'M = b$; altsaa $\frac{\sin i}{\sin b} = n$.

$$= \frac{\sin i}{\sin b} = n.$$

Er det Legeme, hvori Lyset træder ind, det ^{mindst} stærkest brydende, forlænges naturligvis den indfaldende Straale, til den skærer den ydre Cirkel, og den paa PQ (Fig. 36) vinkelrette Linie CM's Skæringspunkt S' med den indre Cirkel bestemmer da den brudte Straale paa samme Maade som ovenfor.

Fig. 36.



Men her kan det Tilfælde indtræde, at M kommer til at falde imellem A og B; CM kan da ikke skære den indre Cirkel, og Brydningen bliver i saa Fald en Umulighed, hvad vi strax nedenfor nærmere skulle omtale. Faldt M i B, var Brydningsvinklen bleven 90° ; den brudte Straale vilde da have strejftet Grændsefladen.

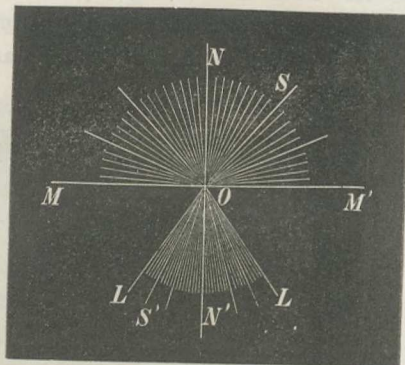
41. Diskussion af Brydningsloven. Den fuldstændige Tilbagekastning. Naar en Lysstraale gaar over fra et mindre til et stærkere brydende Legeme, er Brydningsvinklen, som sagt, altid mindre end Indfaldsvinklen, undtagen naar denne er 0, hvor Brydningsvinklen har samme Værdi. Den største Værdi, Indfaldsvinklen kan have, er 90° . Den hertil svarende største Værdi af Brydningsvinklen er altsaa mindre end en ret. Denne Grændseværdi for Brydningsvinklen findes ved i Ligningen $\frac{\sin i}{\sin b} = n$ at sætte $i = 90^\circ$, hvoraf

$$\frac{1}{\sin b} = n, \text{ eller } \sin b = \frac{1}{n}. \text{ Mellem Luft og Vand er Brydnings-}$$

forholdet n saaledes omtrent $\frac{4}{3}$; den største Vinkel, en Straale, der fra Luften er gaaet over i Vandet, i dette kan danne med Indfaldsloddet, er altsaa bestemt ved $\sin b = \frac{3}{4}$, hvoraf $b = 48\frac{1}{2}^\circ$. For Glas, hvis Brydningsforhold omtrent er lig $\frac{3}{2}$, bliver Brydningsvinklens største Værdi omtrent 42° .

Er altsaa MM' (Fig. 37) Grændsefladen mellem Luft og Glas, ville alle de Straaler, der i alle mulige Retninger træffe samme Punkt O , i Glasset brydes indfor en Kegleflade, hvis Sidelinie OL danner en Vinkel med Axen paa omtrent 42° .

Fig. 37.



Trænger omvendt en Lysstraale fra et stærkere brydende Legeme ind i et mindre stærkt brydende, bliver Brydningsvinklen større end Indfaldsvinklen. Betegner som ovenfor n Brydningsforholdet mellem det mindre og det stærkere lysbrydende Legeme, faas i dette Tilfælde $\frac{\sin i}{\sin b} = \frac{1}{n}$. Da den største Vinkel, den udtrædende Straale kan danne med Indfaldsloddet, her er 90° , er den største Værdi for i bestemt ved $\sin i = \frac{1}{n}$.

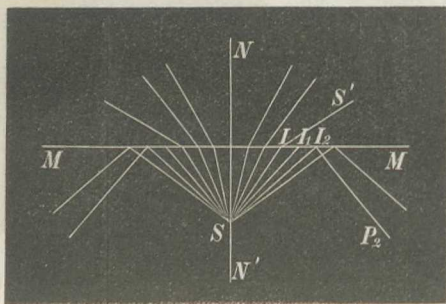
En Infaldsvinkel, for hvilken $\sin i$ er $> \frac{1}{n}$, vilde nemlig gøre $\sin b > 1$, saa at Brydning her bliver en Umulighed. For saadanne Værdier af Indfaldsvinklen finder der altsaa ingen Brydning Sted, og alt Lyset bliver da tilbagekastet. Den Værdi af i , for hvilken $\sin i$ er lig med $\frac{1}{n}$, kaldes derfor Grændsevinklen for den fuldstændige Tilbagekastning.

Som man ser, er denne Vinkel lig med den største Værdi for Brydningsvinklen, naar Lyset gaar over fra det mindre til det stærkere brydende Legeme.

Kommer altsaa en Lysstraale fra Vandet, kan den ikke træde ud i Luften, naar dens Indfaldsvinkel er større end $48\frac{1}{2}^{\circ}$. En Lysstraale, der i Glas danner en Vinkel med Indfaldsloddet paa over 42° , vil ikke kunne trænge ud i Luften.

Er saaledes S (Fig. 38) et Straalepunkt i Vand, MM Vandfladen og den Vinkel, SI_1 danner med Indfaldsloddet NN' , $48\frac{1}{2}^{\circ}$, ville kun de Straaler, der danne en mindre Vinkel med

Fig. 38.



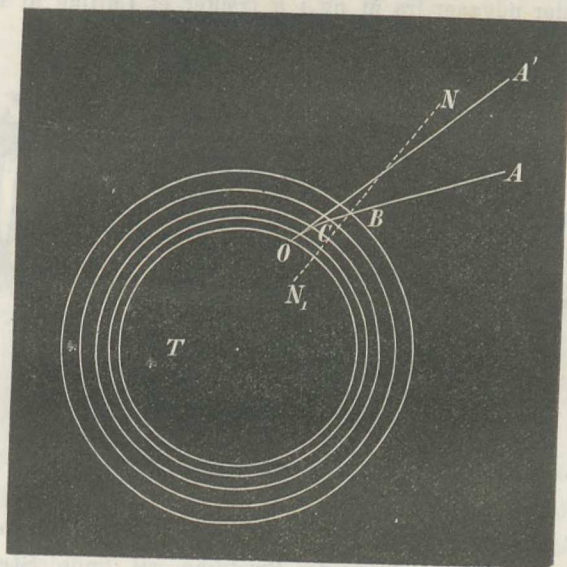
NN' , som SI_1 , træde ud i Luften; alle de andre, som SI_2 , der danne større Vinkler med Indfaldsloddet, ville tilbagekastes fuldstændig af Vandfladen, der altsaa for disse virker som et Spejl.

Fænomener, der hidrøre fra den fuldstændige Tilbagekastning, iagttage vi meget ofte. Naar vi f. Ex. betragte et Glas fyldt med Vand, og holde Øjet noget under Vandskorpen, vil denne tage sig ud som et blankt poleret Spejl, fordi vi i dette Tilfælde fra Overfladen kun modtage tilbagekastet Lys, eftersom ingen af de Straaler, der udenfra trænge gennem Vandfladen kunne brydes saaledes, at de træffe Øjet. De Spejlbilleder, der dannes ved den fuldstændige Tilbagekastning, have større Lysstyrke end de, der frembringes af sædvanlige Spejle, fordi intet Lys gaar tabt ved Indsugning.

42. Brydnings- og Tilbagekastningsfænomener i Luften. Paa Grund af Lysets Brydning gennem Luften, den

atmosfæriske Straalebrydning eller Refraktion, ses alle Stjerner undtagen de i Zenith under en større Højde over Horizonen end den virkelige. Lad nemlig T (Fig. 39) forestille Jorden og AB en Lysstraale, der kommer fra en Stjerne og fra det tomme Rum trænger ind i Atmosfæren; denne Straale vil da brydes i Retningen BC og nærme sig Indfaldsloddet, der her falder sammen med Tyngderetningen eller den forlængede Jordradie BN. Da Atmosfærens Tæthed tiltager mod Jordens Overflade, vil Straalen gennemløbe en Mængde Luftlag af

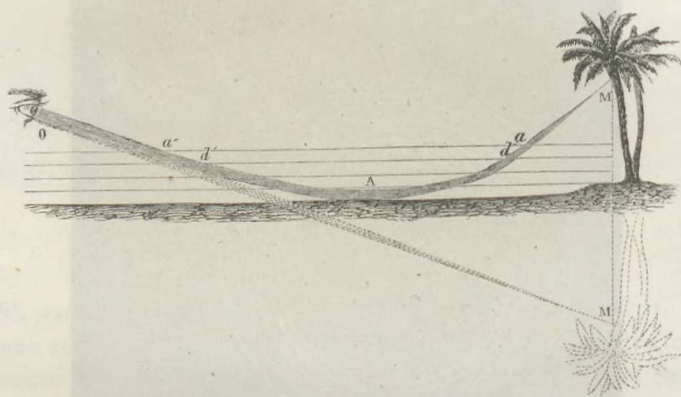
Fig. 39.



stedse voxende Tæthed. Den vil derfor stadig nærme sig Indfaldsloddet, idet den beskriver en krum Linie, eftersom Tætheden voxer gradevis og ikke pludselig. I O, hvor Straalen træffer Jorden, vil en Iagttager derfor se Stjernen i Retningen OA', der tangerer Straalens Vej i O; Stjernen vil altsaa synes højere oppe end den virkelig er. Det ses let, at Straalen altid maa blive i samme vertikale Plan. Refraktionen har altsaa kun Indflydelse paa Stjernens Højde, hvorimod denne ikke herved forrykkes mod Øst eller Vest eller i Azimuth.

Et andet optisk Fænomen, der hidrører fra Straalernes Brydning og Tilbagekastning i Atmosfæren, er de saakaldte Luftspejlinger eller Hildringer (*fata morgana*). Luftspejlinger vise sig navnlig over tørre Sletter, der ere stærkt ophedede af Solen. Man ser da hyppig over Jorden Spejl-billeder af Himlen og høje Gjenstande, saa at en Del af Sletten ser ud som en Sø. Disse Spejl-billeder fremkomme ved, at de Jorden nærmeste Luftlag stærkt opvarmes af den varme Jord, saa at de lavere Luftlag faa en mindre Tæthed end de højere liggende. Lad nemlig Ma (Fig. 40) være en Straale, der udgaaer fra M og i a træffer et Luftlag af mindre

Fig. 40.



Tæthed; den vil da her brydes fra Indfaldsloddet og følge Retningen ad. En lignende Brydning vil finde Sted i de lavere Luftlag, og omsider bliver Indfaldsvinklen ved A saa stor, at en fuldstændig Tilbagekastning finder Sted, saa at et Øje i O ser et Spejl-billede i Retningen $oa'M$. Paa samme Maade kan Himmellyset blive fuldstændig tilbagekastet.

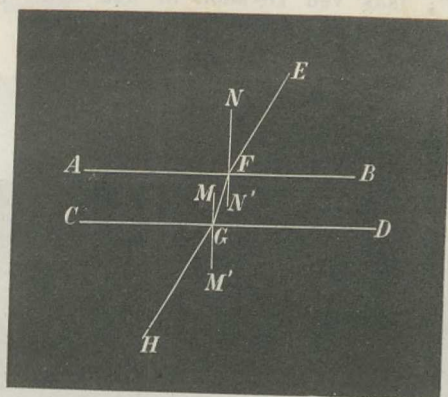
Ogsaa over Havet kunne lignende Luftspejlinger finde Sted, fornemmelig naar der pludselig indtræder en stærk Kulde, og Havet endnu er varmere end Luften.

Omvendt kunne ogsaa Jorden og Havet være betydelig koldere end Luften, saa at dennes laveste Lag afkjøles,

medens de ovenfor liggende have en højere Temperatur. Her-ved kunne Straaler, der udgaa fra Jorden og træffe de varmere Luftlag under en tilstrækkelig stor Indfaldsvinkel, blive fuldstændig tilbagekastede, saa at Spejlingsfænomenerne vise sig i de højere Luftlag.

43. Lysets Brydning gennem Legemer med parallelle Sider. Træffer en Lysstraale et gjennemsigtigt Legeme med parallelle Sider, bliver den udtrædende Straale parallel med den indtrædende. Lad AB og CD (Fig. 41) være de parallelle Begrænsningsflader af et Legeme, der i F træffes af Straalen

Fig. 41.



EF; denne vil brydes i Retningen FG og ved G lide en ny Brydning, saa at den forlader Legemet i Retningen GH. Det vil nu let ses, at EF og GH ere parallelle. Er Brydningsforholdet nemlig n , have vi, naar NN' og MM' ere Indfalds-lodderne: $\frac{\sin ENF}{\sin N'FG} = n$ og $\frac{\sin M'GH}{\sin M'GF} = n$; men da $\angle N'FG = \angle M'GF$, maa vi ogsaa have $\angle ENF = \angle M'GH$.

Erfaringen viser, at en Lysstraale, der er gaaet igjennem en Række Legemer med parallelle Sider, træder ud i en Retning, der er parallel med den indfaldende Straale.

Er altsaa EF (Fig. 42) en Straale, der fra Luften brydes gennem to Legemer med parallelle Sider, vil den i Luften atter udtrædende Straale være parallel med EF. Af den

her anførte Lov følger, at naar det første Legemes Brydningsforhold er n og det andet n' , bliver Brydningsforholdet mellem det første og det andet eller deres relative Brydningsforhold $\frac{n'}{n}$. Vi have nemlig, naar NN' , MM' og PP' ere Indfaldslodderne:

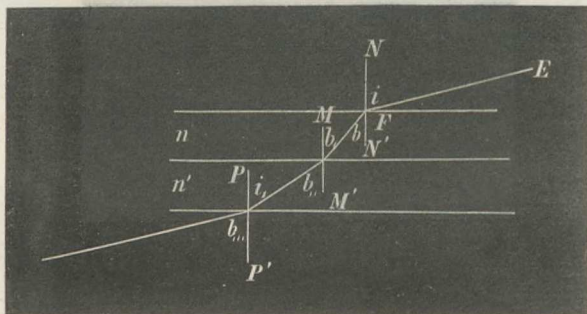
$$\frac{\sin i}{\sin b} = n,$$

$$\frac{\sin b'''}{\sin i_1} = n';$$

men da Erfaringen viser, at $i = b'''$, og vi tillige have $b = b'$, samt $i_1 = b''$, faas ved Division af den nederste med den øverste Ligning:

$$\frac{\sin b}{\sin i_1} = \frac{\sin b}{\sin b''} = \frac{n'}{n}.$$

Fig. 42.



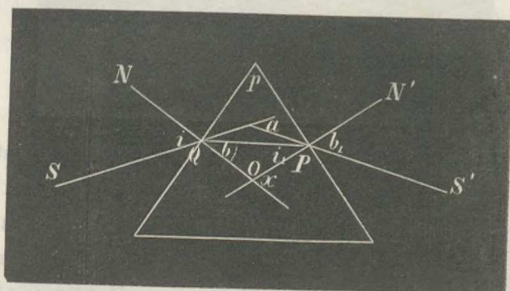
44. Lysets Brydning gennem Prismer. Begrænses et gjennemsigtigt Legeme af plane Overflader, der ikke ere parallelle, kaldes dette i optisk Forstand et Prisme. Den Vinkel, de to ikke parallelle Sider, hvorigjennem en Lysstraale træder ind og gaar ud, danne med hinanden, kaldes Prismets brydende Vinkel, Sidernes Skæringslinie Prismets brydende Kant, og et Snit vinkelret paa denne et Hovedsnit.

Forestiller Fig. 43 et Gjennemsnit af et Prisme vinkelret paa den brydende Kant, er altsaa $\angle p$ den brydende Vinkel,

og dennes Toppunkt Skæringspunktet mellem Snittet og den brydende Kant.

45. Er SQ en indtrædende Straale, der ligger i et Hovedsnit, kan man, naar Prismets Brydningsforhold er bekjendt, ifølge det ovenfor (40) udviklede konstruere Straalens Gang QP gennem Prismet og efter dens Udtrædelse i Luften PS'. Som man vil se, bringes Straalen ved de to Brydninger to Gange til at afvige til den samme Side, begge Gange fra den brydende Kant. Den Vinkel a , den indtrædende og udtrædende Straale danner med hinanden, kaldes Afvigelsen; denne afhænger af Indfaldsvinklen, den brydende Vinkel og Brydningsforholdet.

Fig. 43



Da nemlig SQ ved Indtrædelsesfladen brydes $\angle (i - b)$ og QP ved at træde ud i Luften brydes $\angle (b_1 - i_1)$, idet NQ og N'P ere Indfaldslodderne, bliver Afvigelsen:

$$a = i - b + b_1 - i_1 = i + b_1 - (b + i_1).$$

Af Figuren ses let, at $b + i_1 = x$; men da Vinklerne p og o ere Supplementvinkler, bliver $x = p$, saa at vi altsaa have

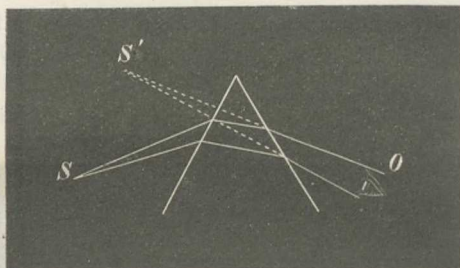
$$a = i + b_1 - p.$$

Da $\sin b_1 = n \sin i_1$ og $i_1 = p - b$ samt $\sin b = \frac{1}{n} \sin i$, kan a altsaa bestemmes ved i , p og n .

Betrakter man et Straalepunkt gennem et Prisme, vil det ses forskudt i en Retning imod den brydende Kant. Er nemlig S (Fig. 44) et Straalepunkt, vil en lille Straalekegle, der brydes gennem Prismet, træffe Øjet O, som om Straalerne

udgik fra S' . Er altsaa den brydende Kant vandret og vender opad, ses en Gjenstand gennem et Prisme at ligge højere end i Virkeligheden, og omvendt, naar den brydende Kant vender nedad. Er den brydende Kant lodret og vender tilhøjre, ses Gjenstandene gennem Prismet tilhøjre for deres virkelige Plads; er den brydende Kant vendt tilvenstre, synes en Gjenstand, betragtet gennem Prismet, at være forskudt tilvenstre.

Fig. 44.



46. Drejer man et Prisme om den brydende Kant, medens man samtidig betragter et Lyspunkt gennem det, vil en Drejning til den ene Side gjøre Afvigelsen større, medens en Drejning til den modsatte Side gjør Afvigelsen mindre. Fortsætter man Drejningen i den sidstnævnte Retning, aftager Afvigelsen, men kun til et bestemt Punkt, og drejer man Prismet videre i samme Retning, voxer Afvigelsen atter. I den Stilling, hvor Afvigelsen er mindst, siges Prismet at være i sin Hovedstilling.

Forsøgene saavel som Beregninger, der ikke kunne fremstilles i denne Bog, vise, at Prismet er i Hovedstillingen, naar den indtrædende og udtrædende Straale danne lige store Vinkler med Indfaldslodderne.

Ifølge (45) bliver altsaa, naar Afvigelsen er mindst,

$$a = 2i - p.$$

47. Bestemmelsen af Legemernes Brydningsforhold. Ved Lysets Brydning gennem et Prisme, der er indstillet i Hovedstillingen, bestemmes let Brydningsforholdet.

Vi have nemlig i dette Tilfælde ifølge 46 $i = \frac{a + p}{2}$, og

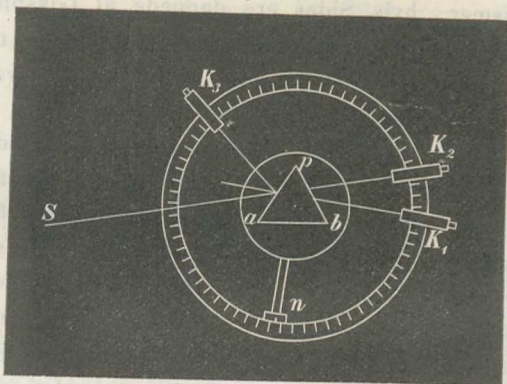
da $b + i' = p$ (Fig. 43) samt i Hovedstillingen $b = i'$, har man tillige $2b = p$. Følgelig

$$\frac{\sin i}{\sin b} = n = \frac{\sin \frac{a+p}{2}}{\sin \frac{p}{2}}.$$

For at n skal kunne bestemmes, maa altsaa a og p være bekendte.

Disse Størrelser kunne findes ved følgende Fremgangsmaade. Prismet opstilles paa et lille Bord, der er anbragt i Midtpunktet af en inddelt, vandret Cirkelring, som kan drejes om Bordets lodrette Fod. Prismet er stillet saaledes paa Bordet, at den brydende Kant er lodret. Som Lysgiver benyttes en langt bortffjernet, lodret Spalte S , hvorigjennem Lyset

Fig. 45.



trænger ind. Ved at dreje Bordet og dermed Prismet indstilles dette i Hovedstillingen, hvilken Stilling er bestemt derved, at en lille Drejning af Prismet til den ene eller den anden Side ikke frembringer nogen Forflytning af det af Prismet dannede Billede af Spalten, der betragtes gennem en Kikkert K_1 , som er fastgjort til den bevægelige Cirkelring. Ved en Nonius n , der ved en Arm er fastgjort til Bordet, efterses dernæst Kredsens Stilling. Derpaa borttages Prismet, og Cirkelringen drejes saaledes, at Kikkerten i Stillingen K_2 er rettet lige mod Spalten.

Det Antal Grader, Ringen er drejet, angiver da Afvigelsen. For nøje at bestemme Kikkertens Stilling, er der i denne anbragt et Traadkors, hvis lodrette Traad ved rigtig Indstilling maa falde midt i Spaltens Billede.

Den brydende Vinkel p findes ifølge 20 ved som før at stille Prismet paa Bordet med den brydende Vinkel lodret. Man drejer da Cirkelringen, til man gennem Kikkerten ser et Spejlbillede af Spalten i Siden ap. Lad Kikkerten i denne Stilling være i K_s . Ringen fastskrues da, og Bordet drejes, til man paa samme Sted i Kikkerten ser Spejlbilledet i Siden pb. Have vi altsaa drejet Bordet m^0 , have vi (20)

$$m^0 = 180^0 - p, \text{ hvoraf } p = 180^0 - m^0.$$

Paa denne Maade kan man finde Brydningsforholdet af faste Legemer ved at tildele dem som Prismer.

Vædske's Brydningsforhold findes ved at indeslutte dem i hule Prismer, hvis Sider ere dannede af Glasplader med parallelle Sider. Disse kunne da ikke frembringe nogen Afvigelse.

Lignende prismatiske Beholdere benyttes til at bestemme Luftarters Brydningsforhold. De maa være forsynede med to Aabninger; gennem den ene kan den atmosfæriske Luft pumpes ud, og gennem den anden kan Beholderen fyldes med den Luftart, hvis Brydningsforhold skal bestemmes. For at bestemme den atmosfæriske Lufts Brydningsforhold ved Middel-lufttrykket pumpes Beholderen først lufttom, og man finder da Brydningsforholdet mellem Luften og det tomme Rum. Har man paa denne Maade bestemt Luftens absolute Brydningsforhold, fyldes Beholderen med en anden Luftart, hvis Brydningsforhold med Hensyn til Luften findes ved Afvigelsen.

Nedenstaaende Tabel angiver det absolute Brydningsforhold for en Del Legemer.

Faste Legemer.

Allun	1,46	Diamant	2,5
Bjergkrystal	1,57	Flintglas	1,7—2
Crownglas	1,54	Granat	1,82

Is	1,31	Safir	1,77
Kalkspath	1,65	Stenkul	1,70
Rubin	1,78	Stensalt	1,56

Vædsker.

Alkohol	1,37	Kogsalt (mættet) . .	1,37
Blod	1,35	Linolie	1,48
Citronolie	1,48	Stenolie	1,54
Edike	1,37	Svovlæther	1,37
Glycerin	1,41	Svovlkulstof	1,65
Kamferolie	1,46	Terpentin	1,55
Kanelolie	1,60	Vand	1,34

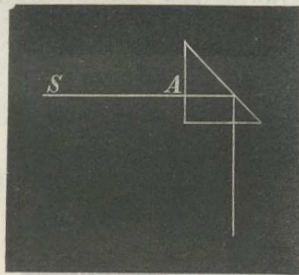
Luftarter

ved 0° og 760^m. Tryk.

Atmosfærisk Luft	1,00029	Klor	1,00077
Brint	1,00014	Kvælstof	1,00030
Ilt	1,00027	Svovlbrinte	1,00064
Kulsyre	1,00045	Svovlætherdampe .	1,0015

48. Fuldstændig Tilbagekastning i Prismer.
 I Prismer indtræder ofte fuldstændig Tilbagekastning. Fore-
 stiller saaledes Fig. 46 Hovedsnittet
 i et retvinklet Prisme af Glas,
 hvor de spidse Vinkler ere 45°,
 vil en Lysstraale, der træffer en af
 Katheterfladerne vinkelret, kastes
 fuldstændig tilbage fra Hypotenuse-
 fladen, fordi Straalen her med Ind-
 faldsloddet danner en Vinkel paa
 45°, der er større end Grændse-
 vinklen for den fuldstændige Til-
 bagekastning i Glas.

Fig. 46.



Er et Prismes brydende Vinkel større end det
 dobbelte af Grændsevinklen for den fuldstændige
 Tilbagekastning, kan ingen Lysstraale gaa igjen-
 nem det.

Betegn vi nemlig ved b , i' og p de samme Vinkler som ovenfor (45), have vi

$$b + i' = p.$$

Har b sin største Værdi, maa i' have sin mindste, og er denne større end Grændsevinklen for den fuldstændige Tilbagekastning, kan en Lysstraale, der er brudt af Prismets ene Sideflade, ikke gaa ud gennem den anden. Kalde vi altsaa Grændsevinklen for den fuldstændige Tilbagekastning B , har i' sin mindste Værdi, naar

$$B + i' = p.$$

Er altsaa $p > 2B$, bliver $i' > B$. Brydning gennem et saadant Prisme er altsaa umulig.

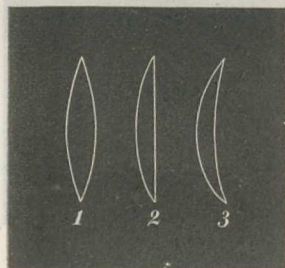
II. Linser.

49. En Linse kaldes et gjennemsigtigt Legeme, der er begrændset af to Kuglehatte eller en Kuglehat og en plan Flade.

Ved en Linses Axe forstaa vi den rette Linie mellem Kugelfladernes Midtpunkter. Man skælner imellem to Arter af Linser: Samlelinser og Spredelinser.

Samlelinserne, der ogsaa kaldes konvekse Linser, ere tykkest paa Midten. De kunne enten være dobbeltkonvekse,

Fig. 47.



hvor begge de krumme Flader ere udbuede (Fig. 47, 1), eller plankonvekse (Fig. 47, 2), hvor kun den ene Flade er udbuet, den anden plan, eller endelig konkavkonvekse, hvor den ene Flade er indbuet og den anden udbuet; denne sidste har da den største Krumning (Fig. 47, 3).

Spredelinserne ere tyndest paa Midten. De deles i dobbeltkonkave, hvor begge de krumme Flader ere indbuede (Fig. 48, 1), plankonkave med en indbuet og en plan Flade (Fig. 48, 2) og konkavkonvekse, hvor den

ene Flade er udbuet og den anden indbuet; den indbuede Flade har ved disse den største Krumning (Fig. 48, 3).

Samlelinserne skyldte deres Navn til den Omstændighed, at de kunne bryde de Straaler, der gaa igjennem dem, saaledes, at de forenes i et Punkt. Navnet Spredelinser hidrører derfra, at disse Linser bringe de Lysstraaler, der ere gaaede igjennem dem, til at fjerne sig fra hinanden.

Alle disse Linser danne virkelige eller indbildte Billeder af de Gjenstande, hvis Straaler de bryde; af denne Grund ere de vigtige optiske Instrumenter.

50. Lysets Brydning gjennem Linser. Vi ville først betragte Brydningen gjennem den forreste Kugleflade, som vi ville antage er konvex. Er S et Straalepunkt og O Centret

Fig. 48.

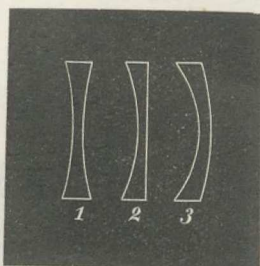
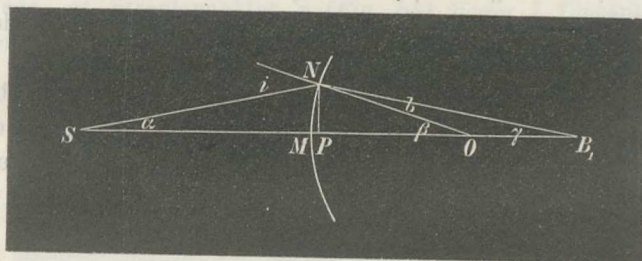


Fig. 49.



for Kuglefladen, vil Straalen SO forplante sig uden Brydning gjennem Linsen. En anden Straale derimod, SN vil brydes saaledes, at den skærer Straalen SO i B. Vi skulle nu vise, at alle de brudte Straaler ville brydes mod dette Punkt.

Ifølge Brydningsloven have vi

$$\sin i = n \sin b.$$

Da imidlertid Overfladen ved alle Linser kun udgjør en meget lille Del af en Kugleflade, og Straalepunktets Afstand er stor i Forhold til Linsens Tværmaal, er Indfaldsvinklen

altid meget lille, saa at vi med stor Tilnærmelse kunne sætte

$$i = nb.$$

Af Fig. 49 ses det, at $i = \alpha + \beta$, og $b = \beta - \gamma$, hvoraf faas

$$\alpha + \beta = n(\beta - \gamma) \text{ eller}$$

$$\alpha + n\gamma = (n - 1)\beta.$$

Da Vinklerne ere meget smaa, kunne vi i Stedet for disse sætte deres Tangenter. Nedfældes $NP \perp SO$, og betegne vi NP med y, samt sætte vi tilnærmelsesvis $SP = SM = a$, $MO = PO = r$ og $B'P = B'M = f'$, have vi $\alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{a}$, $\gamma = \operatorname{tg} \gamma = \frac{y}{f'}$, og $\beta = \operatorname{tg} \beta = \frac{y}{r}$. Vi faa altsaa herved

$$\frac{y}{a} + \frac{ny}{f'} = \frac{(n - 1)y}{r}$$

eller ved Bortdivision af y

$$\frac{1}{a} + \frac{n}{f'} = \frac{n - 1}{r} \dots (I).$$

Da f' alene afhænger af a , r og n , kunne vi af denne Ligning uddrage den vigtige Sætning, at alle Straaler, der udgaa fra samme Punkt, og som træffe en udbuet Kugleoverflade under smaa Indfaldsvinkler, ved at brydes gennem denne faa et fælles Foreningspunkt i den rette Linie, der forbinder Straalepunktet med Kuglefladens Centrum.

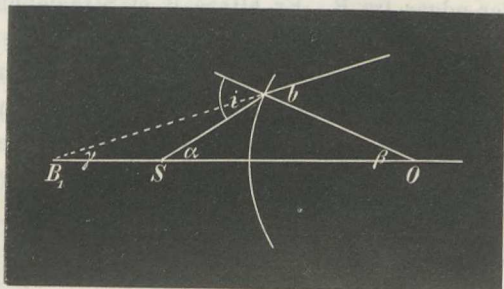
B' bliver altsaa et Billedpunkt af S. Er $a = \infty$, eller ere de indfaldende Straaler parallelle, bliver $f' = \frac{nr}{n - 1}$.

Aftager a , voxer f' ; bliver endelig $a = \frac{r}{n - 1}$, er $f' = \infty$, saa at alle de brudte Straaler blive parallelle med SO. Er $a < \frac{r}{n - 1}$, bliver f' negativ. Straalerne fra S ville i dette Tilfælde efter Brydningen spredes og faa et indbildt Foreningspunkt foran Kuglefladen. Vi have nemlig i saa Fald (Fig. 50)

$i = \alpha + \beta$ og $b = \beta + \gamma$, saa at vi faa $\alpha - n\gamma = (n - 1)\beta$,
hvoraf

$$\frac{1}{a} - \frac{n}{f'} = \frac{n - 1}{r}.$$

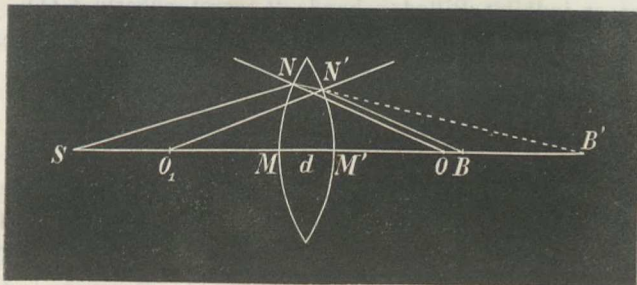
Fig. 50



Den negative Værdi af f' antyder altsaa, som det ses af Fig. 50, at B' bliver indbildt og ligger foran Kuglefladen.

51. Vi skulle nu omtale Straalernes Brydning gennem begge Overfladerne af en dobbelt konvex Linse. Vi ville først antage, at Straalepunktet S (Fig. 51) ligger i Linsens Axe eller i Linien mellem Kuglefladernes Midtpunkter O_1O .

Fig. 51.



Straalen SN , der inde i Linsen har Retningen NB' , vil af den anden Kugleflade ved N' brydes, saa at den skærer Axen i B . Vi kunne nu vise, at alle de fra S udgaende Straaler efter Brydningen skære Axen i dette Punkt, der altsaa bliver et Billedpunkt af S .

Tænke vi os nemlig, at Straalen $N'B$ gik den modsatte Vej fra B til N' , vilde den inde i Linsen ved Brydning gennem den bageste Kugleflade faa Retningen $N'N$, saa at den i B' vilde faa et indbildt Skæringspunkt med Axen, hvilket Punkt ifølge 50 altsaa er et indbildt Skæringspunkt for alle de Straaler, der udgaa fra B . Er altsaa B et Straalepunkt, bliver B' dets indbildte Billede, dannet ved Brydning gennem den bageste Flade. Betegne vi nu BM' ved f , $B'M$ som før med f' , Radien til den bageste Kugleflade med r' samt Linsens Tykkelse med d , faa vi ifølge det foregaaende, eftersom Billedet her er indbildt,

$$\frac{1}{f} - \frac{n}{f' - d} = \frac{n - 1}{r'}.$$

Tage vi ikke Hensyn til Linsens Tykkelse, kan ovenstaaende Ligning skrives

$$\frac{1}{f} - \frac{n}{f'} = \frac{n - 1}{r'} \dots (II).$$

Addere vi denne Ligning til (I) i 50, faa vi Hovedligningen for Lysets Brydning gennem Linser

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{n - 1}{r} + \frac{n - 1}{r'}.$$

Var der ved Brydningen gennem den forreste Flade bleven dannet et indbildt Billede, havde f' været negativ i (I), men positiv i (II), saa at vi ogsaa i dette Tilfælde var kommen til samme Resultat.

52. Er $a = \infty$, bliver $f = \frac{rr'}{(n - 1)(r + r')}$. Man

kalder denne Værdi af f Linsens Brændvidde. I denne Afstand fra Linsen ville altsaa alle de Straaler, der før Brydningen vare parallel med Axen, efter Brydningen forenes. Dette Skæringspunkt for de brudte Straaler kaldes Brændpunktet.

Enhver Straale, der er parallel med Axen, vil altsaa efter Brydningen gaa igjennem Brændpunktet, ligesom omvendt en Straale, der før Brydningen gaar igjennem Brændpunktet, efter Brydningen bliver parallel med Axen.

53. Kalde vi Brændvidden p , kan Hovedligningen i 51 skrives

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p}.$$

Som man ser, er denne Ligning ganske den samme som den, der udtrykker Loven for Lysets Tilbagekastning fra Hulspejle. Forskjellen er blot den, at medens ved Hulspejlene Straalepunktet og dets virkelige Billede begge ligge foran Spejlet, ligge de her hver paa sin Side af Linsen, medens det omvendte er Tilfældet med de indbildte Billedpunkter, der ved Linserne ligge paa samme Side som Straalepunkterne og ved Hulspejlene hver paa sin Side af disse.

Af ovenstaaende Ligning ses det som ved Hulspejlene, at a og f kunne ombyttes. Udgaar Straalerne fra B ville de brydes saaledes, at de forenes i S . Straalepunktet og Billedpunktet ere altsaa sammenhørende Punkter.

Det ses endvidere, at enhver Linse har to Brændpunkter, der begge ligge i Axen hver paa sin Side af Linsen i samme Afstand fra denne.

Af Ligningen følger, at

$$a = \infty \text{ giver } f = p$$

$$a > 2p \quad " \quad f < p$$

$$a = 2p \quad " \quad f = 2p$$

$$a < 2p \quad " \quad f > 2p$$

$$a > p \quad " \quad f > 2p$$

$$a = p \quad " \quad f = \infty$$

$$a < p \quad " \quad f < 0 \text{ (indbildt Billedpunkt)}$$

$$a = 0 \quad " \quad f = 0.$$

54. Er den ene af Linsens Sider plan, bliver den ene af Radierne uendelig stor, og vi have da $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{r}$.

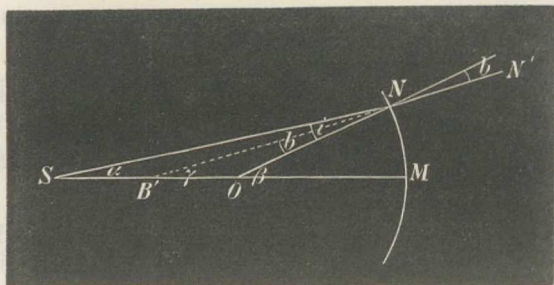
Er en af Siderne konkav, bliver i Udtrykket for $\frac{1}{p}$ Radien til den konkave Side negativ. Lad nemlig SN (Fig. 52) være en indtrædende Straale og O Centret til Kuglefladen;

en Straale SN vil da altid brydes saaledes, at den baglænds forlænget kommer til at skære Axen i B' mellem S og O. Vi faa da: $i = \beta - \alpha$ samt $b = \beta - \gamma$, og heraf paa samme Maade som i 50: $\alpha - n\gamma = (n - 1) \beta$, hvoraf

$$\frac{1}{a} - \frac{n}{f'} = - \frac{n - 1}{r},$$

idet vi betegne Radien til den konkave Overflade med r . De Straaler, der udgaa fra et virkeligt Straalepunkt, ville altsaa

Fig. 52.



ogsaa ved Brydning i en konkav Kugleflade faa et fælles Skæringspunkt i Linien mellem Straalepunktet og Centret; men dette Billedpunkt bliver her altid indbildt. Den udhævede Sætning i 50 gjælder altsaa ogsaa for konkave Kugleflader.

Ved at betragte N'N som en udtrædende Straale kunne vi paa lignende Maade som i 51 vise, at ovenstaaende Formel ogsaa gjælder, naar Straalen fra Linsen træder ud i Luften.

Vi faa altsaa for de forskjellige Linser følgende Værdier for $\frac{1}{p}$, naar r og r , betegne Radiernes numeriske Værdier:

for dobbeltkonvexe Linser $\frac{1}{p} = (n - 1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$; for

plankonvexe Linser: $\frac{1}{p} = (n - 1) \frac{1}{r}$, idet $r' = \infty$; for

konkavkonvexe Linser: $\frac{1}{p} = (n - 1) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right)$, idet r'

er større end r ; for dobbeltkonkave Linser: $\frac{1}{p} = (n - 1)$

$\left(-\frac{1}{r} - \frac{1}{r}\right) = -(n - 1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$; for plankon-

kave: $\frac{1}{p} = -(n - 1) \frac{1}{r}$, idet $r = \infty$; for konvex-

konkave: $\frac{1}{p} = (n - 1) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r}\right) = -(n - 1)$

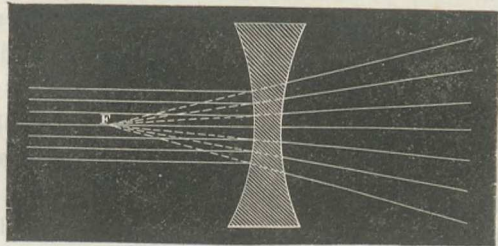
$\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r}\right)$, hvor r , er mindre end r .

Ved alle konkave Linser eller Spredelinser er altsaa Brændvidden negativ. Der dannes ved disse altid indbildte Billeder af et Straalepunkt. Ved at anvende ganske den samme Fremgangsmaade som den, hvorved vi bestemte Lysets Brydning i konvekse Linser, faa vi Brydningen i de konkave bestemt ved Udtrykket

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{p},$$

hvor p betegner Brændvidden uden Hensyn til Fortegn. Ligningen er ganske den samme som den, der gjælder for Tilbagekastningen fra konvekse Spejle (35). Ere de indtrædende Straaler parallelle med Axen (Fig. 53), ville de efter

Fig. 53.

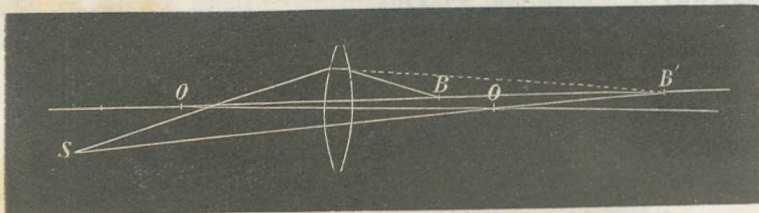


Brydningen spredes, som om de kom fra det foran Linsen liggende Brændpunkt. Af Ligningen ses, at a i numerisk Værdi altid er større end f ; aftager a , bliver ogsaa f mindre. Da $a = \infty$ giver $f = p$, maa Billedpunktet, naar Straale-

punktet ligger i endelig Afstand, altid ligge mellem Brændpunktet og Linsen.

55. Ligger Straalepunktet udenfor Axen, ville de brudte Straaler ogsaa faa et fælles Foreningspunkt. Er nemlig O og O', (Fig. 54) Centrene til Kuglefladerne, vil der ved Brydning

Fig. 54.



gjennem den forreste Kugleflade dannes et Billede i B', beliggende i SO og i en Afstand fra Linsen, der er bestemt ved Ligningen (I) i 50. De Straaler, der inde i Linsen ere rettede mod B' ville da af den anden Flade brydes saaledes, at de faa et fælles Foreningspunkt B i Linien mellem B' og O'. B's Afstand fra Linsen er bestemt ved Ligningen (II) i 51. Billedpunktets Beliggenhed kan, som nedenfor skal vises, let bestemmes ved Konstruktion.

56. Det optiske Midtpunkt. Ved det optiske Midtpunkt forstaa vi et Punkt af en saadan Beliggenhed, at enhver Straale, der inde i Linsen er rettet imod det, efter sin Udtredelse af Linsen bliver parallel med den indtrædende. Lad C og C₁ (Fig. 55) være Centrene til Kuglefladerne, r og r₁ to parallelle Radier; en Straale, der inde i Linsen gaar fra N til N₁, maa da efter Brydningen blive parallel med den indtrædende, eftersom Tangentplanerne til N og N₁ ere parallelle. Vi skulle nu vise, at det Punkt A, hvor NN₁ skærer Axen, er det optiske Midtpunkt. Da $\triangle CNA$ er ligedannet med $\triangle C_1N_1A$, have vi nemlig: $\frac{r}{r_1} = \frac{CA}{C_1A}$, der, naar vi betegne Linsens Tykkelse med a, A's Afstand fra den mod C vendte Flade ved x,

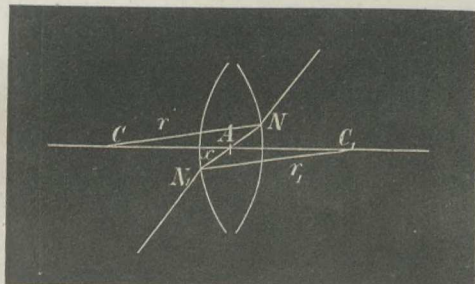
kan skrives

$$\frac{r}{r_1} = \frac{r - a + x}{r_1 - x},$$

hvoraf $x = \frac{r_1 a}{r + r_1}.$

Da x alene er bestemt ved Linsens Tykkelse og Radierne til Kuglefladerne, maa altsaa alle de Straaler, der inde i Linsen

Fig. 55.



ere rettede imellem to Punkter paa Overfladen, hvis Tangentplaner ere parallelle, skære Axen i samme Punkt, saa at omvendt enhver Straale, der inde i Linsen gaar igjennem A, efter sin Udtrædelse bliver parallel med den indtrædende.

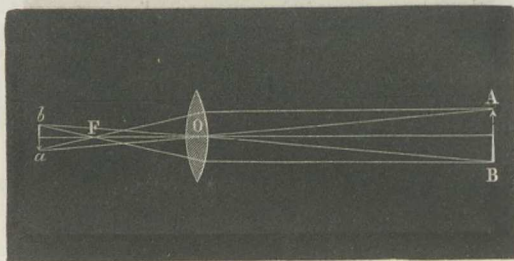
I dobbeltkonvexe og dobbeltkonkave Linser bliver x positiv og mindre end a ; det optiske Midtpunkt ligger altsaa ved saadanne inde i Linsen. Ved plankonvexe og plankonkave Linser ligger det optiske Midtpunkt i den krumme Flade, idet vi ved først at dividere Tæller og Nævner med r_1 og dernæst sætte $r_1 = \infty$ faa $x = a$; havde vi sat $r = \infty$, var x bleven 0. I de konkavkonvexe og konvexkonkave Linser ligger det optiske Midtpunkt udenfor Linsen, idet nemlig x enten bliver negativ eller større end a .

Tage vi ikke Hensyn til Linsens Tykkelse, kunne vi altsaa betragte en Straale, der gaar igjennem det optiske Midtpunkt, som gaaende ubrudt igjennem Linsen. Vi kalde enhver Linie gjennem dette Punkt en Biaxe.

57. Linsebilleder. Ved Hjælp af det optiske Midtpunkt og Brændpunkterne kunne vi nu konstruere Billedet af

et Straalepunkt udenfor Axen. Lad saaledes (Fig. 56) AB være en Gjenstand. Vi drage da fra A en Straale gennem det optiske Midtpunkt O; denne Straale vil da gaa ubruds igjennem; en anden Straale fra A parallel med Axen vil brydes gennem Brændpunktet F, og dens Overskæringspunkt med Biachsen i a vil da være A's Billede, eftersom de fra A udgaaende Straaler efter Brydningen maa skære hinanden i

Fig. 56.



samme Punkt. Paa lignende Maade konstrueres Billedet b af B; ab er da AB's Billede.

I Stedet for at drage en Straale parallel med Axen kunde vi have draget en Straale fra A gennem det Brændpunkt, der ligger paa samme Side af Linsen som Gjenstanden; denne Straale vilde da efter Brydningen være bleven parallel med Axen og have truffen Biachsen gennem A i a.

Betragtes ab som Gjenstanden, bliver AB Billedet, eftersom de tilsvarende Punkter af Gjenstanden og Billedet ere sammenhørende Punkter (53).

Den sidst anførte Konstruktion findes angivet paa Figuren, naar ab forestiller Gjenstanden.

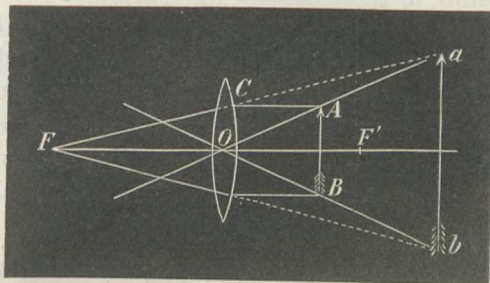
Ligger Gjenstanden udenfor Brændpunktet, bliver Billedet altid virkeligt og omvendt.

Er Gjenstandens Afstand derimod mindre end Brændvidden, bliver Billedet indbildt og opretstaaende.

Konstruktionen udføres i saa Fald efter de samme Regler som ovenfor. Er saaledes (Fig. 57) AB Gjenstanden, drages

AO gennem det optiske Midtpunkt og en anden Straale AC parallel med Axen; denne Straale vil da efter Brydning gaa

Fig. 57.



igjennem Brændpunktet F og fjerne sig fra Biachsen AO. Straalerne fra A ville da efter Brydningen spredes, som om de kom fra FC's indbildte Skæringspunkt a med AO. Paa samme Maade dannes der i b et indbildt Billede af B. Holder man altsaa Øjet bag ved Linsen saaledes, at det modtager de brudte Straaler, vil det i ab se et opretstaaende Billede af AB.

58. Linsebillederne ere ligesom de Billeder, der dannes af Hulspejle, kun ligedannede med deres Gjenstande, naar Afstandene fra de forskjellige Punkter af disse til Linsen kunne betragtes som lige store. Betegne vi for dette Tilfælde Gjenstandens Størrelse i lineær Udstrækning med G og Billedets med B, ses det let ved en Betragtning af Fig. 56 og 57, at $\frac{B}{G} = \frac{f}{a}$, hvor f og a have samme Betydning som i det fore-

gaaende. Indsættes Værdien for $f = \frac{ap}{a-p}$, faas

$$\frac{B}{G} = \frac{p}{a-p} = \frac{1}{\frac{a}{p} - 1}$$

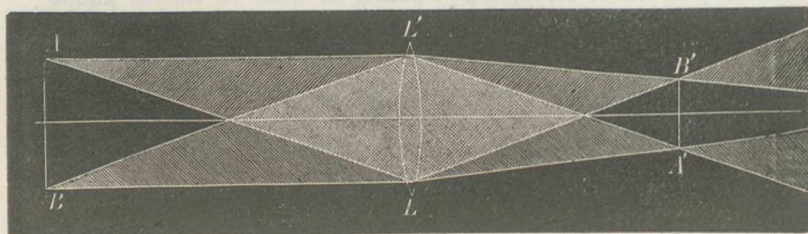
ligesom ved Hulspejle.

Er altsaa $a > 2p$, bliver $B < G$; Billedets Afstand er i dette Tilfælde større end Brændvidden og mindre end den dobbelte Brændvidde. $a = 2p$, giver $B = G$; Billedet og Gjenstanden ligge da begge i den dobbelte Brændviddes Afstand

fra Linsen. Er $a < \frac{2p}{p}$, bliver $B > G$; Billedets Afstand er da større end den dobbelte Brændvidde. For $a = p$ skulde ifølge Udtrykket B blive uendelig stor, men der finder i saa Fald ingen Billeddannelse Sted, eftersom Straalerne fra Gjenstandens forskellige Punkter brydes parallel med de tilsvarende Biaxter. Er endelig $a < p$, bliver Billedet indbildt, men større end Gjenstanden, og opret, som Konstruktionen viser det. De indbildte Billeder ere desto større, jo nærmere Gjenstanden ligger ved Brændpunktet. Er $a = 0$, bliver $B = G$ samt $f = 0$.

59. De virkelige, frit svævende Billeder ere ligesaa lidt som de, der dannes af Hulspejle, synlige i alle Retninger, eftersom der fra hvert af deres Punkter kun udsendes Lys i en Straalekegle, hvis Toppunkt dannes af Punktet, og hvis Ledelinie er Linsens Omkreds. Forestiller saaledes AB (Fig. 58) Gjenstanden og $A'B'$ Billedet, ville Straalerne i den Straalekegle, der udgaaer fra A og træffer Linsen, brydes, saa at der dannes en ny Kegle, hvis Toppunkt ligger i A' , og i den

Fig. 58.



Del af samme, der vender bort fra Linsen, maa Øjet holdes for at se Billedpunktet A' .

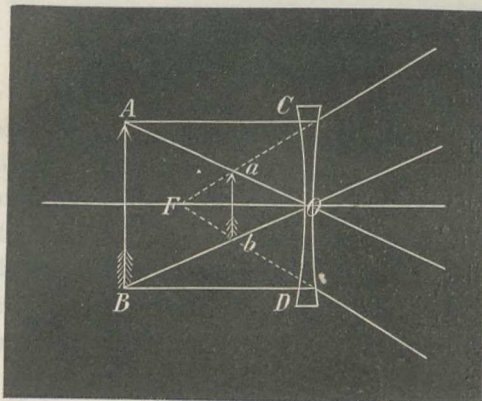
Saadanne Billeder kunne opfanges paa Skærme og blive da ved spredt Tilbagekastning synlige i alle Retninger, men de ere mere lyssvage og mindre skarpe end de fritsvævende.

Udmaaler man Linsens Afstand fra Billedet og Skærmen,

kan man paa samme Maade som ved Hulspejle (31) deraf beregne Linsens Brændvidde.

60. Er Linsen en Spredelinse, anvendes ganske den samme Fremgangsmaade til Konstruktion af Billedet som ved Samlelinserne. Billedet bliver her altid indbildt. Er AB (Fig. 59) Gjenstanden, drages først en Straale AO gennem

Fig. 59.

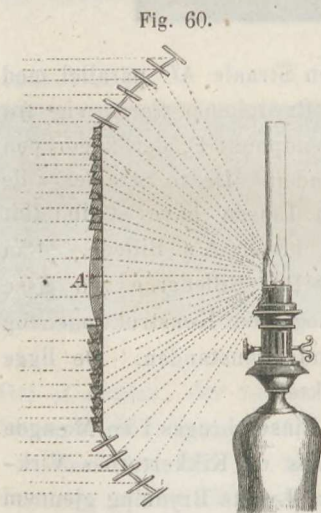


det optiske Midtpunkt og dernæst en Straale AC parallel med Axen; denne Straale vil da efter Brydningen fjerne sig fra Axen, som om den kom fra det Brændpunkt F, der ligger paa samme Side af Linsen som Gjenstanden. De to Straaler ville da efter at være gaaede gennem Linsen have et indbildt Foreningspunkt i a, der saaledes bliver A's Billede. Paa samme Maade dannes Billedet b af B. Billederne ved disse Linser ere altid opretstaaende, og, som Konstruktionen og Beregningerne vise det, mindre end Gjenstanden. De ligge stedse mellem Linsen og Brændpunktet.

61. Linsers Anvendelse. Linser bruges i en Mængde optiske Instrumenter. Mikroskopernes og Kikkerternes Virkninger bero saaledes udelukkende paa Lysets Brydning gennem Linser. Vi skulle beskrive disse Instrumenter i et efterfølgende Kapitel; her ville vi blot omtale nogle mindre sammensatte Apparater.

Ved Fyrene bruges Linser ligesom Hulspejle (34) til at kaste Lyset ud i en bestemt Retning, hvorved det ses i en længere Afstand end, hvis det blev spredt til alle Sider. Linser have det Fortrin fremfor Hulspejle, at de kunne anbringes saaledes, at man kun behøver at bruge én Lampe, og tilmed gaar der mindre Lys tabt ved Straalernes Gjennemgang gennem Linser end ved deres Tilbagekastning fra Hulspejle. Lampen anbringes i det fælles Brændpunkt for en Række Linser, der omgive den. Straalerne ville da efter Brydningen træde ud parallelle med Axerne. For at Fyret skal kunne ses, maa Tværmaalet af de forskellige Straalecylindre være meget anseligt, eftersom man kun kan iagttage Lyset indenfor disse. Ved Linser med stort Tværmaal er imidlertid de ovenfor udviklede Love ikke mere gyldige, fordi de forudsætte, at Overfladen kun udgjør en meget ringe Del af en Kugleflade. Er Lampen stillet saaledes, at de centrale Straaler brydes parallelle med Axen, gjælder dette ikke for Randstraalerne, hvis Brændpunkt ligger nærmere ved Linsen; tilmed maa en saadan Linse

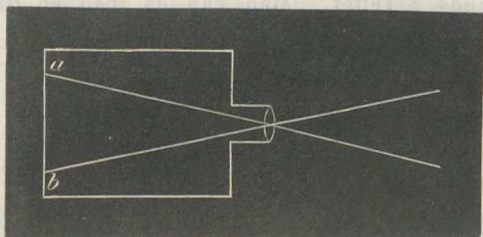
være temmelig tyk, hvorved en Del Lys tabes ved Indsugning af Glasset. Man bruger derfor til saadanne Fyr de af Fresnel opfundne saakaldte Polyzonal-linser. Fig. 60 viser en saadan i Gjennemsnit. Den bestaar af en plankonvex Linse A af forholdsvis ringe Tværmaal, omgivet af flere Linseringe, hvis Krumninger ere afpassede saaledes, at de alle have samme Brændpunkt som A. Udenom dette Linsesystem er der i Almindelighed anbragt flere Spejle saaledes, at de tilbagekaste det Lys, Flammen i Linsernes fælles



Brændpunkt udsender, parallelt med de Straaler, der ere brudte gennem Linserne.

62. Til at skaffe sig tydelige Billeder af Gjenstande bruger man et *Cāmera obscura*. Det bestaar i sin simpleste Form af en indvendig sværtet Kasse, i hvis ene Side findes et Rør med en eller to Samlelinser (Fig. 61). Den modsatte Side bestaar af en mat sleben Glasplade. Stiller man

Fig. 61.

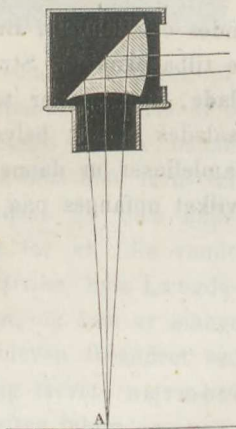


nu Røret med Linsen mod en Gjenstand, vil dennes Billede ab opfanges paa Glaspladen, paa hvilken den kan iagttages. For at Billedet kan blive saa skarpt som muligt, er Røret med Linsen forskydeligt. Bruger man to Linser, ville de Straaler, der ere gaaede igjennem den første, yderligere samles af den anden. Billedets Afstand bliver derfor i dette Tilfælde mindre end, naar man kun bruger en enkelt af Linserne. De to Linser ville altsaa virke som en enkelt af kortere Brændvidde. Man kunde derfor frembringe et Billede i samme Afstand ved at bruge en enkelt Linse af kortere Brændvidde, men dette vilde ske paa Belysningens Bekostning, fordi en saadan Linse maatte have en større Krumning end enhver af de enkelte, saa at dens Tværmaal maatte være betydelig mindre, hvorved den kun kunde sende en mindre Lysmængde ind i Kassen.

Et saadant Camera obscura anvendes i Fotografien.

Vil man bruge Billedet til at tegne efter, er den ovenfor beskrevne Ind-

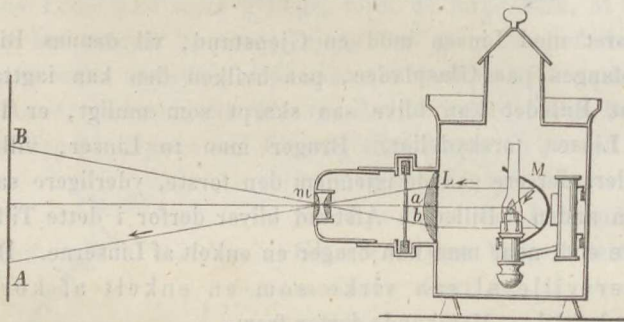
Fig. 62.



retning ikke bekvem. Man bruger da som Camera obscura et Art Telt, der fuldkommen kan lukkes med et mørkt Omhæng. Foroven findes en lille Aabning, hvori der findes en Samlelinse af den Form, Fig. 62 angiver, hvorved Lyset med fuldstændig Tilbagekastning inde i Linsen kastes ind i Teltet. Billedet dannes da paa et Stykke Papir, der er lagt paa et lille Bord inde i Teltet. Man kan da med en Blyant tegne Billedets Omrids.

63. Et andet Apparat, der ogsaa bruges til at frembringe Billeder paa Skærme, er den saakaldte Lanterna magica. Den bestaar af en lille Blikkasse (Fig. 63), hvori

Fig. 63.



findes en Lampe i Brændpunktet af et Hulspejl M, der sender de tilbagekastede Straaler gennem Samlelinsen L til en Glasplade, hvorpaa er tegnet et gjennemsigtigt Billede ab, der saaledes stærkt belyses. Ved Brydning gennem en eller to Samlelinser m dannes der da et omvendt Billede AB af ab, hvilket opfanges paa en Skærm.

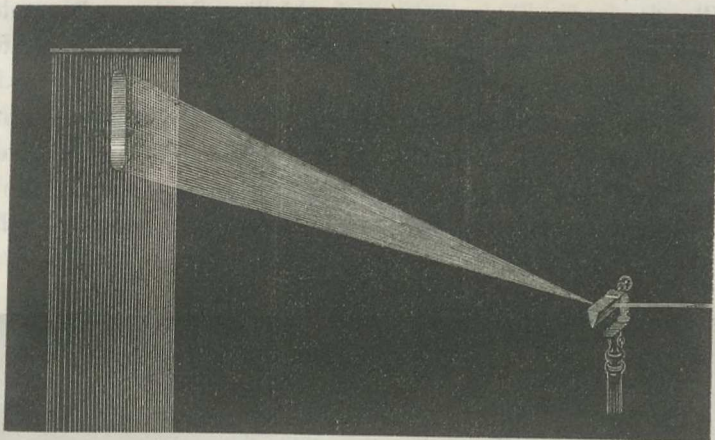
Fjerde Kapitel.

Forskjelligartede Lysstraaler.

I. Sollysets Farveadspredelse. — Farverne.

64. Newtons Grundforsøg. Lader man et Bundt Solstraaler trænge ind gennem en lille Aabning i et formørket Værelse, ser man paa en Aabningen modstaaende Skærm et

Fig. 64.



lille rundt ufarvet Solbillede saaledes, som vi tidligere (7) have omtalt det. Lader man nu Straalebundtet brydes af et Prisme, hvis brydende Kant vi ville antage vender nedad, skulde man vente, at Pletten paa Skærmen blot blev forflyttet, men iøvrigt ikke forandrede sit Udseende. Et helt andet Fænomen viser sig imidlertid. I Stedet for et lille rundt, ufarvet Solbillede, se vi nemlig en farvet Stribe, hvis Længderetning er vinkelret paa den brydende Kant, og som er mange Gange større end Bredden, der ikke er bleven forandret ved Brydningen (Fig. 64). Striben er forskjellig farvet, nærmest ved den brydende Kant findes rødt, derefter følger orange,

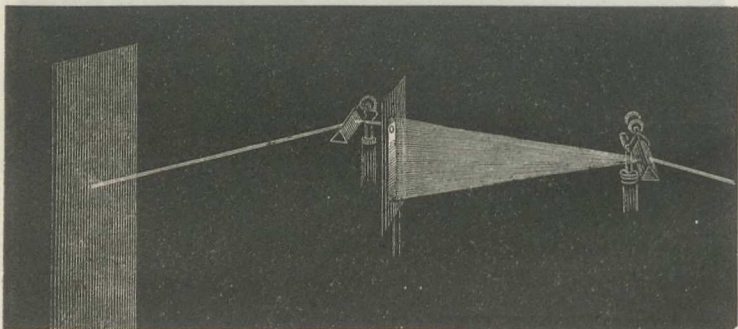
gult, grønt, blaat, indigo og violet. Det saaledes farvede Billede kaldes det prismatiske Solbillede eller Solspektret.

Dette Forsøg blev første Gang udført af Newton, der tillige gav den rigtige Forklaring af Fænomenet. Newton viste nemlig, at Sollyset er sammensat af en Mængde forskellige Straaler af ulige Brydbarhed, hvilke, naar de ere forenede frembringe hvidt Lys, medens de enkeltvis give en Farve, hvis Art retter sig efter Brydbarheden. Træffer altsaa et Bundt parallele Solstraaler et Prisme, ville de i dette brydes ulige meget; de ophøre derfor efter Brydningen at være parallelle, og af denne Aarsag ville de træffe Skærmen paa forskellige Steder. De røde Straaler ere altsaa de mindst brydbare, hvorimod de violette brydes stærkest.

Newton godtgjorde Rigtigheden af denne Forklaring ved en Mængde Forsøg, af hvilke vi her ville anføre de vigtigste.

65. Straalernes ulige Brydbarhed. Newton frembragte det prismatiske Solbillede paa en Skærm med en lille

Fig. 65.



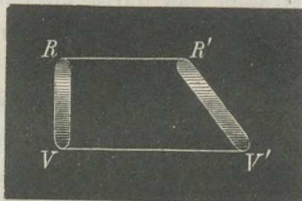
Aabning, der kun var saa stor, at Straalerne af en enkelt Farve-art kunde trænge igjennem den (Fig. 65). Ved at dreje det Prisme, hvorved Solspektret blev dannet, om dets brydende Kant, lod Newton efterhaanden Spektrets forskellige Farvestraaler gaa igjennem Aabningen. Disse blev atter brudte af et bagved

denne opstillet Prisme. Gik nu alene de røde Straaler gennem Aabningen, og opfangedes de efter Brydningen paa en Skærm, viste der sig et lille rødt Billede af Aabningen. De orange-farvede Straaler gave en lignende orange-farvet Plet, men dets Sted paa Skærmen viste, at disse Straaler ere mere brydbare end de røde. Paa lignende Maade viste det sig, at de gule Straaler have en større Brydbarhed end de orange-farvede, hvorimod de ikke brydes saa stærkt som de grønne o. s. v., og at de violette ere de stærkest brydbare af alle.

Tilmed viste dette Forsøg, at de forskjellige prismatiske Farvestraaler ikke yderligere kunne spredes i andre. De orange-farvede Straaler ere saaledes ligesaa usammensatte som de røde og gule; vare de en Blanding af begge, vilde de ved Brydning være blevne sondrede i Straaler af disse to Farver. Ligeledes ere Straaler, der give den grønne Del af Spektret, ligesaa usammensatte som de, der findes i den gule og blaa Del.

66. Hvad ovenstaaende Forsøg lærer os, godtgjorde Newton ogsaa paa andre Maader. Han dannede saaledes først et lodret prismatisk Solbillede RV (Fig. 66) ved at lade Solstraaler brydes af et Prisme med den brydende Kant vandret. Dernæst opstillede han bag ved dette Prisme et andet, men hvis brydende Kant var lodret, saaledes at de Straaler, der vare brudte af det første Prisme, atter bleve brudte af det sidste. Ved denne Brydning blev Spektret forrykket til Siden og stillet skraat saaledes, som $R'V'$ viser det. Dette Forsøg godtgjør altsaa ligesom det foregaaende, at den røde Del af Spektret R og R' indeholder de mindst brydbare, den violette Del V og V' derimod de mest brydbare Straaler, og at Brydbarheden voxer fra den røde Del til den violette i den Orden, hvori Farverne følge. I Spektret $R'V'$ viste der sig de samme Farver og i samme Orden som i RV , saa at det ogsaa ved dette Forsøg er paa-

Fig. 66.



vist, at de forskjellige Farvestraaler i Spektret ere alle lige usammensatte.

67. De prismatiske Straalers Forening til hvidt Lys. Indeholder Sollyset, som vi have vist det, altsaa forskjellig farvede Straaler af ulige Brydbarhed, maa der, naar Straalerne i det prismatiske Solbillede forenes, atter fremkomme hvidt Lys. Ved mangfoldige Forsøg blev dette ogsaa godtgjort af Newton.

Lader man saaledes de Solstraaler, der ere brudte af et Prisme, som er stillet tæt indenfor den Aabning, gennem hvilken Straalerne træde ind, gaa igjennem en Linse, og opstiller man en Skærm i den Afstand fra Linsen, hvor denne vilde danne et Billede af Aabningen, viser der sig paa Skærmen et ufarvet Billede af Aabningen.

Sætter man et Prisme, hvormed man har frembragt et prismatisk Solbillede, i hurtig Omdrejning om dens brydende Kant, vil Solspektret derved komme i en hurtig Bevægelse i sin egen Længderetning, og det vil da paa en Skærm vise sig som en lang Stribe af blændende hvidt Lys, fordi Øjet fra hver enkelt Del af Striben modtager de forskjellige Farvestraaler saa hurtig efter hinanden, at det samtidig opfatter alle disse Farveindtryk som hvidt Lys.

68. Stoffets Indflydelse paa Farveadspredelsen. Da Farveadspredelsen fremkommer ved Forskjellen i de forskjellige Straalers Brydbarhed, maa den være desto større, jo større Forskjellen er mellem de yderste violette og yderste røde Straalers Brydningsforhold. Betegne vi derfor Brydningsforholdene for disse Straaler med n_v og n_r , vil Differensen $n_v - n_r$ være et Maal for Farveadspredelsen. Jo større denne Differens er, desto mere farveadspredende siges et Stof at være.

For Flintglas er saaledes $n_v - n_r = 0,045$, medens man for Crownglas har $n_v - n_r = 0,020$. Flintglas spreder derfor Solstraalerne omtrent dobbelt saa stærkt som Crownglas. Vand er langt mindre farveadspredende, idet for dette $n_v - n_r = 0,013$.

Lysets Farveadspredelse staar ikke i noget bestemt Forhold til Straalernes Brydningsforhold; man kan ikke af dette

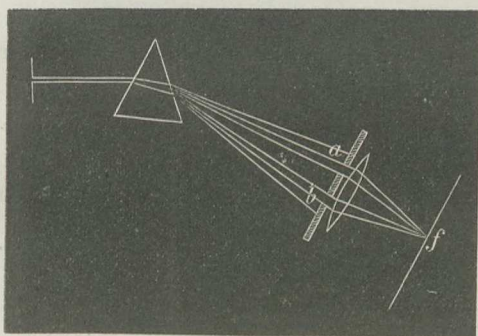
slutte sig til Størrelsen, af Farveadspredelsen. Saaledes er denne for Flintglas omtrent dobbelt saa stor som for Crown-glas, hvorimod Forholdet mellem de midterste grønne Straalers Brydningsforhold for Flintglas og Crownglas kun er som 16 : 15.

Danner man det prismatiske Solbillede ved Prismer af forskellige Stoffer, ville Farverne vel følge i samme Orden, men deres forholdsvis Udstrækning er meget forskjellig. Saaledes er den røde Del af Spektret forholdsvis langt mindre, naar Prismet er af Flintglas end af Crownglas eller Vand; derimod har den blaa og violette Del en forholdsvis langt større Udstrækning i første Tilfælde end i sidste.

69. Komplementære Farver. Forener man Solstraaler, der ere spredte af et Prisme, ved Brydning gennem en Linse, fremkommer der, som vi ovenfor have set det, atter hvidt Lys. Bortskaffer man derimod nogle af Straalerne, f. Ex. ved at indskyde en Skærm mellem Prismet og Linsen, bliver Straalernes Foreningspunkt ikke mere hvidt, men farvet. Lader man f. Ex. Skærmen opfange de røde, orange farvede og gule Straaler, faar Foreningspunktet en blaa Farvetone, hvortil man alt-saa kun har at tilføje rødt, orange og gult for atter at danne hvidt.

Til at frembringe hvidt Lys er det imidlertid ikke nødvendigt at forene alle Spektrets forskjellige Straaler. Ogsaa

Fig. 67.



ved to enkelte Farvestraalers Forening kan dette fremkomme. Man kan vise dette ved foran den Linse, der forener de af et Prisme brudte Straaler, at anbringe en lille Skærm med to

smaa Aabninger a og b (Fig. 67). Paa denne Maade forener Linsen kun de to Straalebundter, der ere gaaede gjennem Aabningerne. Ved saadanne Forsøg har man da fundet, at der til ethvert Sted i Spektret fra Begyndelsen af det røde til Enden af det gule findes et tilsvarende mellem Begyndelsen af det blaa til Enden af det violette, hvis Straaler ved at forenes give hvidt. Saadanne to Farver, der tilsammen give hvidt, kaldes komplementære eller Udfyldningsfarver. Saaledes har man fundet, at følgende enkelte Spektralfarver ere komplementære:

rødt og grønligblaat, orange og blaat, gult og indigo, grønliggult og violet.

Den grønne Del af Spektret har ingen enkelt Komplementfarve, men en sammensat, en Blanding af rødt og violet.

Blander man andre af Spektrets enkelte Farver med hinanden, fremkommer der Blandingsfarver, af hvilke nogle ligne Spektralfarverne, andre derimod ikke.

70. Det samme kan ogsaa vises ved roterende Skiver, der ere inddelte i Sektorer, som ere bemalede med komplementære Farver. Har man saaledes inddelt en cirkelrund Skive i lige-store Sektorer, der afvejlende ere malede gule og indigoblaa, ser Skiven hvidlig ud, naar den bringes i hurtig Omdrejning.

Inddeler man en saadan Skive i 7 Sektorer, og bemaler man disse med Farver, der saa vidt mulig nærme sig til de prismatiske saavel i Renhed som i Udstrækning, viser Skiven sig graalighvid, naar den sættes i rask Omdrejning.

At Skiverne ikke synes fuldkommen hvide, hidrører fra den Omstændighed, at det baade er umuligt nøjagtigt at gengive Solspektrets Farver og at give dem den Udstrækning og Lysstyrke, som de der have.

Blander man Farvestoffer af de ovenfor nævnte komplementære Farver sammen, faar man derimod en Farveblanding, der aldeles ikke nærmer sig til hvidt. Saaledes give f. Ex. en Blanding af et gult og et indigofarvet Farvestof en grøn Farve. Aarsagen hertil skal nedenfor omtales.

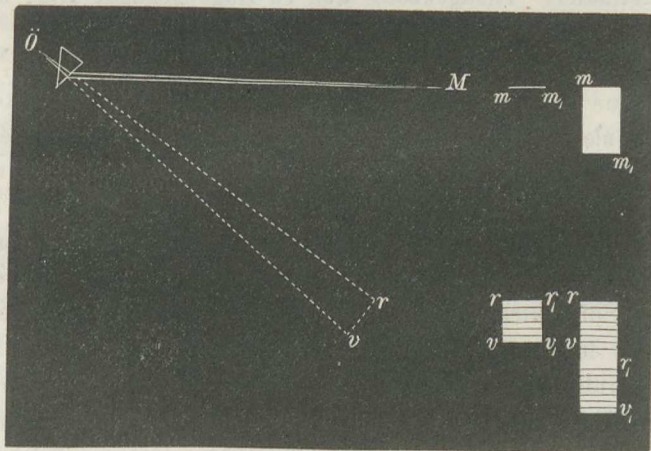
71. Legemernes Farve. De uigjennemsigtige Legemers Farve fremkommer ved, at de fortrinsvis tilbagekaste visse

Straalearter, medens de øvrige indsuges. Zinnober er saaledes rødt, fordi det fortrinsvis tilbagekaster de røde Straaler af Sollyset og hovedsagelig indsuger de øvrige. Et grønt Legeme er et saadant, der kun tilbagekaster de grønne Straaler eller saadanne, der tilsammen give grønt, hvorimod de øvrige indsuges. Man kan vise dette ved at lade Solspektret i et mørkt Værelse falde paa et Stykke Papir, der er oversmurt med et eller andet Farvestof. Er Papiret f. Ex. farvet rødt med Zinnober, vil den røde Del af Spektret ses ligesaa intensivt lysende som paa en hvid Skærm; de orangefarvede og navnlig de gule Straaler tilbagekastes derimod mindre rigeligt af Zinnoberet, og den øvrige Del af Spektret ser næsten ganske sort ud. Anstiller man et lignende Forsøg med Kromgult, vil Spektret vise meget livlige Farver i det gule og orange; den mest brydbare af den røde og den grønne Del kommer kun svagt tilsyne, og det blaa og violette ses aldeles ikke.

Tilbagekaster et Legemes Overflade alle Farvestraaler i lige høj Grad, er dets Farve hvid.

Betragter man derfor gennem et Prisme en lille hvid

Fig. 68.



Strimmel Papir M, der er parallel med Prismets brydende Kant (Fig. 68), vil den vise sig som et prismatisk Billede rv

med alle Solspektrets Farver. Da nemlig Strimlen mm, tilbagekaster alle mulige Farvestraaler, ville de røde Straaler, som de mindst brydbare, træffe Øjet Ö, som om de udgik fra r, medens de violette brydes, som om de kom fra v; Strimlen mm, vil da gennem Prismet se ud som et farvet Baand rr, vv,, hvori alle Solspektrets Farver findes. Ser man derimod paa en hvid Flade mm,, hvor de to Sider ere parallelle med den brydende Kant, vil den kun vise sig farvet i Randen saaledes, at den Rand, der er nærmest den virkelige Plads, er farvet rød og gul, medens den modsatte er begrændset af en violet og blaa Kant. Aarsagen hertil er den, at ethvert Element af Fladen parallel med den brydende Kant, danner et lille prismatisk Farvebillede, der dækkes af det foregaaende og efterfølgende, saa at Øjet fra hver Del af Billedet modtager Lys af alle mulige Farver med Undtagelse af fra Randen, hvor de yderste Dele af Spektrene komme tilsyn.

Et hvidt Legeme viser derfor altid Farven af det Lys, der træffer det. I rødt Lys ser det derfor rødt ud. Belyses det alene af blaa Straaler, viser det en blaa Farve o. s. v.

Et Legeme er derimod sort, naar det indsuger alle Farvestraaler. Tilbagekastes kun en ringe Mængde Lys, men alle Straalearter i lige Grad, er Legemet graat.

72. De gennemsigtige Legemers Farve hidrører fra, at disse kun ere gennemstraalelige for Straaler af en bestemt Farve, medens de øvrige indsuges. Rødt Glas lader saaledes kun røde Straaler eller saadanne, hvis Blandingsfarve er rød, gaa igjennem sig; de øvrige Straaler indsuges. Man kan nærmere paavise, hvilke Straaler, der gaa igjennem et farvet gennemsigtigt Legeme ved først paa sædvanlig Maade at frembringe Solspektret paa en hvid Skærm i et mørkt Værelse og dernæst lukke Aabningen med en gennemsigtig farvet Plade med parallelle Sider. Lader man saaledes Solstraalerne, førend de træffe Prismet, gaa igjennem rødt Rubinglas, ses den røde Del af Spektret med uforandret Lysstyrke. Den orangefarvede og navnlig gule Del viser sig derimod kun meget svagt, medens den grønne, blaa og violette Del mangler aldeles. Det røde

Rubinglas indsuger altsaa alle de grønne, blaa og violette Straaler samt den største Del af de gule og orange-farvede; kun de røde gaa usvækkede igjennem. Paa lignende Maade kan man vise, at det blaa Koboltglas kun lader de blaa Straaler og nogle af de violette og grønne samt de yderste røde gaa igjennem sig, hvorimod alle de andre indsuges.

Vil man paa samme Maade undersøge farvede Vædskers Gjennemstraalelighed for Solstraalerne, maa de indesluttet i ufarvede Glaskar med parallelle Sider.

Naar Lysstraaler, der først ere gaaede gjennem et gjennem-sigtigt og farvet Legeme, træffe et andet, men af en anden Farve, svækkes Lyset forholdsvis langt mere ved at gaa gjennem det sidste Legeme end gjennem det første. Lægger man saaledes en rød og en grøn Glasplade ovenpaa hinanden, er denne Sammensætning næsten fuldstændig uigjennemsigtig, skjøndt hver af de enkelte Plader kan være meget gjennem-sigtig. Aarsagen hertil er den, at det første Glas indsuger alle de grønne Straaler, og det grønne næsten alle de røde, saa at der saa godt som intet Lys kan gaa igjennem, naar Pladerne lægges ovenpaa hinanden.

Paa lignende Maade forholder det sig, naar man blander to Vædsker sammen af forskellige Farver. Blandingen taber da i Gjennemsigtighed, og Blandingsfarven indeholder ikke de oprindelige Farver. De fleste gule og blaa Vædsker give saaledes ved at blandes sammen en grøn Vædske, der er langt mindre gjennemsigtig end de, hvoraf den er frembragt. De fleste gule Vædsker ere nemlig meget gjennemstraalelige for det gule Lys, hvorimod de indsuge en stor Del af det grønne, alt det blaa og saa godt som alle de andre Farvestraaler. De fleste blaa Opløsninger lade det blaa Lys gaa omtrent usvækket igjennem; de ere ligeledes, men i mindre Grad, gjennemstraalelige for det grønne Lys, hvorimod de indsuge alt det gule og næsten alle de andre Farvestraaler. En Blanding af en gul og en blaa Vædske indsuger derfor alt det Lys, der indsuges af hver af Vædskerne for sig, saa at de kun lade en Del af de grønne Straaler gaa igjennem sig.

Paa en hel anden Maade forholder det sig, naar de gule og indigoblaa Straaler i Spektret forenes, idet den frembragte Blandingsfarve her indeholder begge Farverne, hvis Samvirken Øjet opfatter som hvidt Lys (69).

73. I meget tynde Lag ere alle Legemer, som vi tidligere (5) have bemærket det, gjennemsigtige. Holder man saaledes et tyndt udhamret Guldblade op mod den klare Himmel, giver det et blaagrønt Skær, naar Øjet holdes bag ved det. Vi maa derfor antage, at Lyset, der træffer et uigjennemsigtigt Legeme, trænger noget indenfor Overfladen, saa at Tilbagekastningen ikke alene finder Sted fra denne, men ogsaa fra de Dele, der ligge noget indenfor. Det er da ved Indsugning i de yderste Lag, at de tilbagekastede Straaler blive farvede.

Ved den fuldstændige Tilbagekastning kan ingen Indsugning finde Sted, fordi Lysstraaerne her ikke kunne trænge ind i Legemet. En fuldstændig Tilbagekastning kan, som vi have set det (41), indtræde, naar Lyset fra et stærkere brydende Legeme træffer et mindre stærkt brydende. Ved en inderlig Blanding af to Legemer, der bryde Lyset forskjelligt, finder der fuldstændig Tilbagekastning Sted i alle mulige Retninger, og en saadan Blanding er derfor hvid. Saaledes danner en Blanding af Luft og smaa Vanddele det hvide Skum. Sneens og Skyernes Hvidhed, naar de ses ved tilbagekastet Lys, grunder sig ligeledes derpaa.

II. De frauenhoferske Linier. — Spektre af forskjellige Lyskilder. — Spektralanalysen.

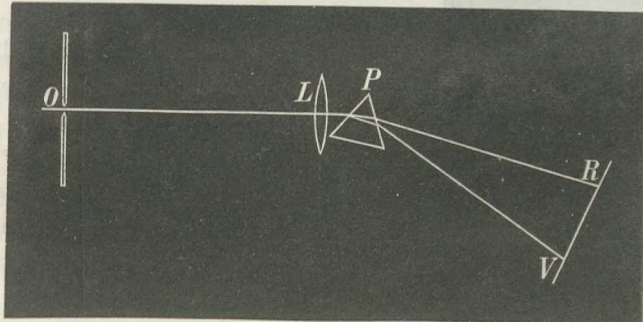
74. Den Maade, paa hvilken vi ovenfor lærte, at Newton frembragte det prismatiske Solbillede, giver ikke noget fuldkommen rent Spektrum, det vil sige et saadant, i hvilket hver enkelt lille Del kun indeholder fuldkommen ensartede Straaler eller saadanne, der ere af absolut den samme Brydbarhed. Hver enkelt Straaleart vil nemlig ved at brydes gennem Prismet give hvert sit lille Solbillede, saa at Spektret strengt

taget kommer til at bestaa af en Række smaa saadanne Billeder, af hvilke hvert delvis dækkes af de nærmest foregaaende og efterfølgende. I enhver enkelt Del af Spektret vil der derfor findes Lys af noget forskjellig Brydbarhed. I den midterste Del af det gule, vil der saaledes findes Straaler, der, hvis det prismatiske Solbillede var rent, kun vilde findes mellem denne Del af Spektret og den orangerfarvede, medens der paa den anden Side ogsaa griber Straaler ind, som i det rene Spektrum vilde falde mellem det midterste gule og grønne.

Opfanger man derfor det prismatiske Solbillede paa en Skærm, der er opstillet tæt bag ved Prismet, komme de Billeder, der dannes af de enkelte Straalearter til at falde saa nær ved hinanden, at den midterste Del af Spektret kommer til at indeholde Straaler af alle mulige Farver; denne Del er derfor hvid, og kun Randen er begrændset af farvede Striber.

75. Det rene Spektrum. Skal man danne et rent Spektrum, er det ifølge det ovenstaaende fremfor alt nødvendigt, at gjøre Udstrækningen af Straalebundtet vinkelret paa Prismets brydende Kant saa lille som mulig. Man opnaar dette ved at lade Sollyset trænge ind gjennem en

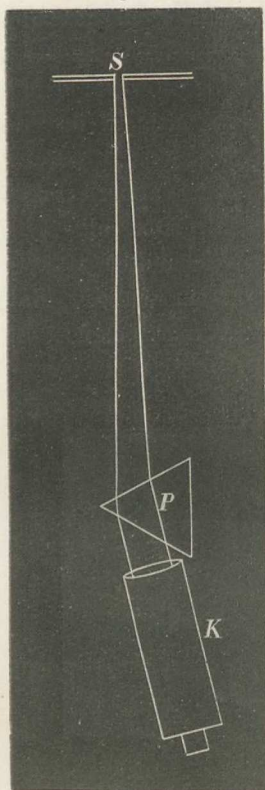
Fig. 69.



meget smal Spalte *O* (Fig. 69) og i nogen Afstand fra denne at opstille en Linse *L*, der paa en Skærm frembringer et skarpt begrændset Billede af Spalteaabningen. Man

anbringer dernæst tæt bag ved L et Prisme P med den brydende Kant parallel med Spalteabningen. Var det Lys, der trænger gennem Spalten fuldkommen ensartet f. Ex. rødt Lys, vilde der et Sted paa Skærmen f. Ex. i R vise sig et rødt Billede af Spalten, og var denne tilstrækkelig smal, vilde Billedet vise sig som en rød Linie. Et saadant lineært Billede vil der nu paa Skærmen frembringes af enhver enkelt Straaleart. Indeholder Sollyset Straaler af alle mulige Farvearter og Brydningsforhold mellem de yderste røde og yderste violette, ville alle disse Billeder altsaa komme til at ligge umiddelbart ved Siden

Fig. 70.



af hinanden, saa at det prismatiske Solbillede vil vise sig som en farvet Stribe med en jævn Overgang mellem de forskellige Farver. Mangler der derimod Straaler af en vis Brydbarhed, vil dette give sig tilkjende ved mørke Linier i Spektret.

Frembringer man et Solspektrum paa den her beskrevne Maade, ser man det i Virkeligheden ogsaa gennemfuret af mørke Linier, vinkelrette paa Længderetningen. Disse Linier vise altsaa, at der i Sollyset mangler Straaler af en bestemt Brydbarhed. Enkelte af dem bleve i Begyndelsen af dette Aarhundrede opdagede af Wollaston, men senere i 1814 selvstændig gjenfundne og omhyggelig undersøgte af Fraunhofer, efter hvem de have faaet deres Navn.

Fraunhofers Fremgangsmaade var en noget forskjellig fra den ovenfor beskrevne, idet han i Stedet for at lade Solspektret dannes paa en Skærm lod Solstraalerne efter Brydningen gennem

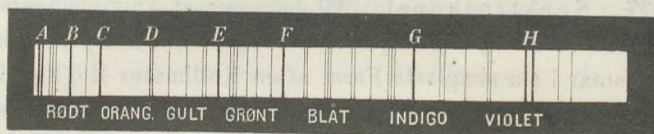
Prismet P (Fig. 70) trænge ind i en Kikkert K, der var trukket saa langt ud, at man ved at rette den mod Spalten S saa et

skarpt Billede af denne. I Kikkerten ser man da det prismatiske Solbillede meget forstørret, hvorved det altsaa kan undersøges langt nøjagtigere end, naar det dannes paa en Skærm.

Fraunhofer opdagede paa denne Maade henved 600 mørke Linier i Spektret. Senere Undersøgelser have vist, at der findes flere tusinde saadanne.

Fig. 71 viser de mest fremtrædende af Linierne i Solspektret. De ere temmelig ensformig udbredte over hele Spektrets Ud-

Fig. 71.



strækning, dog findes de noget rigeligere i den stærkest brydbare Del af samme end i den røde og gule. Enkelte af Linierne, der ere lette at finde, har Fraunhofer benævnet med de første store Bogstaver i Alfabetet. A, B og C findes i det røde, D, der er en Dobbeltlinie, i det gule, E i det grønne, F i det blaagrønne, G i det indigo og H, der bestaar af to Linier eller rettere Bundter af saadanne, ligger i den violette Del.

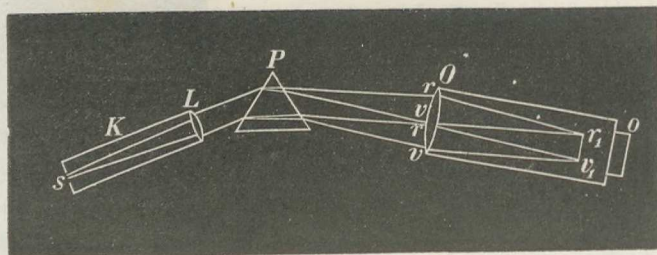
En Del af de fraunhoferske Linier hidrører fra Straalernes Indsugning af Atmosfæren, fornemmelig af Vanddampene i denne; der viser sig derfor flere Linier om Morgen og om Aftenen, end naar Solen staar højt paa Himlen; men det langt overvejende Flertal fremkommer ved, at Sollyset mangler Straaler af en vis Brydbarhed. De samme Linier findes ved den prismatiske Spredning af alt det Lys, der stammer fra Solen; saaledes giver det fra Atmosfæren tilbagekastede Lys, Planeterne og Maanen Spektre med de samme Linier som Sollyset.

76. Bruger man den i 47 angivne Methode til at bestemme et Legemes Brydningsforhold, vil man altsaa i Kikkerten se Spalten som et prismatisk Solbillede. Man maa derfor ved en nøjagtig Bestemmelse af Brydningsforholdet angive dette for de forskjellige Straalearters Vedkommende. I denne Hen-

seende ere de frauenhoferske Linier af stor praktisk Betydning. Vilde man f. Ex. bestemme Brydningsforholdet af et Legeme for det gule Lys, vilde man kunne komme til forskellige Resultater, da den gule Del af Spektret har en meget kjendelig Udstrækning, og saaledes indeholder Straaler af forskjellig Brydbarhed. Derimod kan Forholdet nøjagtig angives, naar man bestemmer det for D-Liniens Vedkommende. De frauenhoferske Linier tjene saaledes som faste Mærker, hvorved Brydningsforholdet kan bestemmes for visse bestemte Straalearters Vedkommende.

77. Spektroskopet. Til bekvemt at kunne undersøge Spektrene af forskellige Lyskilder bruger man et Spektroskop. Det bestaar i sin simpleste Form af en Kollimator K (Fig. 72),

Fig. 72.



et Prisme P af Flintglas og en Kikkert. Kollimatoren er et Rør, i hvis ene Ende der findes en smal Spalte s, og i den anden en Samlelinse L, hvis Brændvidde er lige stor med Rørets Længde. Prismet er stillet i sin Hovedstilling saaledes, at den brydende Kant er parallel med Spalten. Lader man ved en Heliostat Solstraaler træffe Spalten, ville nogle trænge ind i Røret og brydes af Linsen saaledes, at de alle efter Udtrædelsen blive parallelle med Linsens Axe. Disse Straaler blive da atter brudte af Prismet, gennem hvilket de træde ud, saa at alle Straaler af samme Brydbarhed blive parallelle; saaledes ville f. Ex. de yderste røde Straaler danne Straalecylinderen rr , de yderste violette vv . Kikkerten stilles nu saaledes, at Objektivet O, den Samlelinse, hvorigjennem Straalerne træde ind, opfanger de fra Prismet kommende

Straaler. Inde i Kikkerten ville da de yderste røde Straaler forenes i r_1 , de yderste violette i v_1 i en Afstand fra Objektivet lig med dettes Brændvidde, og mellem r_1 og v_1 komme alle de andre Farvestraalers Foreningspunkter til at ligge, saa at r_1v_1 bliver et prismatisk rent Solbillede. Dette betragtes gennem Kikkertens Okular o, der virker som et Forstøringsglas.

78. Spektre af forskellige Lyskilder. De Spektre, de selvlysende Legemer give, ere ingenlunde ens; de kunne henføres under tre forskellige Arter.

1) Spektre med mørke Linier som Solspektret; saadanne Spektre give foruden Solen kun Fixstjernerne; de mørke Liniers Beliggenhed er forskellig i de forskellige Stjernespektre.

2) Uafbrudte Spektre, hvor ingen Straaleart mangler, og i hvilke der altsaa ikke findes mørke Linier. Alle faste og flydende hvidglødende Legemer give et saadant Spektrum. Undersøger man med et Spektroskop Lyset fra hvidglødende Kalk (Drummonds Kalklys), fra en hvidglødende Metaltraad eller fra Kulspidser, der gløde ved en elektrisk Strøm, ser man et Spektrum med alle Sollysets Farver, men uden nogen mørk Linie.

Det samme Spektrum giver ogsaa den almindelige Lysflamme, hvis Lys skyldes smaa hvidglødende Kuldele.

3) Glødende Dampe og Luftarter give et Spektrum, der bestaar af et større eller mindre Antal lysende Linier af forskellig Farve adskilte ved mørke Mellemrum. Saadanne Legemer udsende altsaa kun visse bestemte Straalearter. Et lignende Liniespektrum dannes ogsaa af den elektriske Gnist, der bringer Luften, hvorigjennem den udlades, til at gløde, og som indeholder smaa Dele af de Ledere, imellem hvilke den slaar over, som glødende Dampe.

79. Lader man Sollyset, førend det træffer Spektroskopets Spalte, gaa igjennem Rør, fyldte med forskellige Luftarter, optræder der nye mørke Linier i Spektret. Saaledes giver Salpeterundersyre en Mængde Linier ganske af samme

Art som de frauenhoferske. Ved Lysets Gjennemgang gennem Brom- og Joddamp optræder der ogsaa en stor Mængde Linier. Det er i Almindelighed kun de farvede Luftarter, der give Linier, dog frembringer Klor ingen.

Anbringer man foran Spalten et gjennemsigtigt farvet Legeme, f. Ex. en Opløsning af Bladgrønt eller Blod, give de forskellige Farvestraalers Indsugning sig tilkjende ved, at der i Spektret optræder mørke Baand, der ofte ere saa brede, at en eller flere Farvearter ganske kunne mangle (smlg. 72).

Fig. 73 viser Blodets »Indsugningsspektrum«. Den violette og næsten hele den blaa Del af Spektret mangler. I den gule

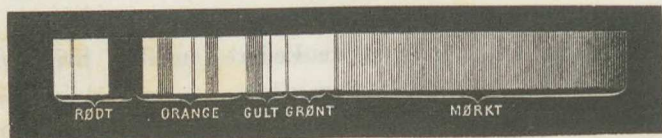
Fig. 73.



og grønne Del findes der to mørke Baand. Blodrødt er altsaa ingen enkelt Farve, men en Blanding af alle dem, der findes i Blodets Spektrum. Den ringeste kemiske Forandring i Blodet, f. Ex. en Forgiftning af Kulilte eller Blaasyre giver sig tilkjende ved en Forandring af Spektrets Udseende.

En Opløsning af Bladgrønt (Klorofyl) giver et højest karakteristisk Spektrum (Fig. 74). I den midterste Del af det røde

Fig. 74.



findes et bredt, sort Baand; nogle andre Indsugningsbaand findes i det orange og gule. Den blaa og violette Del af Spektret er fuldkommen forsvunden. Bladenes grønne Farve

er altsaa en Blanding af de Farver, der findes i Spektret af Bladgrønt og ikke nogen enkelt prismatisk.

80. Spektralanalysen. Ved Undersøgelser af Spektrene af forskjellige Stoffer i glødende Dampform have Bunsen og Kirchhoff (1860) aabnet en hel ny Vej for den kemiske Analyse, idet de ved nøje at bestemme Liniernes Beliggenhed have paavist, at Spektralundersøgelserne kunne give sikker Oplysning om, hvilke Stoffer der findes i det Lys, der frembringer Spektret.

Til disse Undersøgelser benyttede de Spektroskopet. Foran Spalten var der stillet en ikke lysende, men meget hed Flamme, og i denne bleve de Stoffer fordampede, hvis Spektre skulde undersøges.

Bliver saaledes et lille Stykke Kogsalt (Klornatrium) bragt ind i Flammen, bestaar Spektret kun af en gul Linie, hvis Lys er af nøjagtig den samme Brydbarhed som D-Linien i Solspektret. Set gjennem en Kikkert med stærk Forstørrelse viser Natriumlinien ligesom D-Linien i Solspektret sig at være en Dobbeltlinie. Alle Forbindelser, der indeholde Natrium, give denne Linie; den hidrører følgelig fra dette Metal, saa at dens Tilstedeværelse er et Tegn paa, at der findes Natrium i det Stof, der frembringer den.

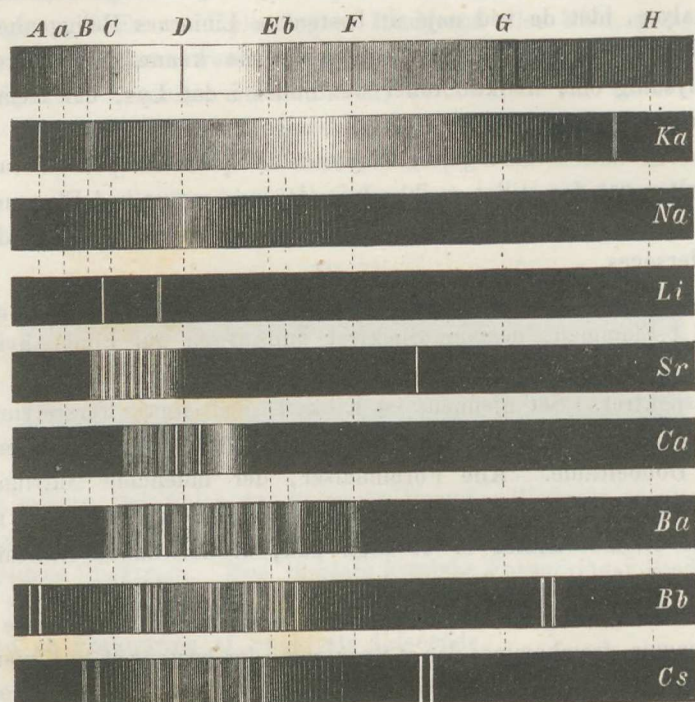
Ved paa lignende Maade at lade et Lithiumsalt fordampe i Flammen, fremkommer der et Spektrum, der bestaar af to Linier, den ene rød af omtrent samme Brydbarhed som B-Linien og den anden orange-farvet af en noget mindre Brydbarhed end D-Linien.

Kaliumforbindelserne give to karakteristiske Linier, en rød, der falder sammen med A-Linien, og en violet mellem G- og H-Linierne samt en svagere rød af samme Brydbarhed som B-Linien; tilmed ses den grønne og blaa Del af Spektret meget svagt.

De alkaliske Jordarters Metaller have mere sammensatte Spektre. Saaledes giver f. Ex. Barium flere røde, orange-farvede, gule og grønne Linier.

Fig. 75 viser Spektrene af Kalium (Ka), Natrium (Na), Lithium (Li), Strontium (Sr), Kalcium (Ca) og Barium (Ba), sammenlignende med Solspektret.

Fig. 75.



Den spektralanalytiske Methode er ganske overordenlig følsom. Forsøg have saaledes godtgjort, at 3000000 Milligram af et Natriumsalt er tilstrækkelig til at farve en ikke lysende Flamme gul, saa at den for Metallet karakteristiske Linie ses i Spektroskopet. Flere Gange er det hændet ved de spektralanalytiske Undersøgelser, at der i Spektroskopet har vist sig nye Linier, der paaviste Tilstedeværelsen af tidligere ukjendte Stoffer, som det senere er lykkedes at fremstille særskilt. Paa denne Maade bleve Metallerne Cæsium (Cs), Rubidium (Rb), og Thallium opdagede.

De fleste øvrige Metaller Spektre ere overordenlig sammensatte og bestaa ofte af mange hundrede Linier. De Metaller, der ikke kunne fordampe i en hed Flamme, forvandles til glødende Dampe ved stærke elektriske Udladninger eller ved at ophedes i det elektriske Lys, den stærkeste Varmekilde vi have til vor Raadighed.

Skal man undersøge Spektrene af glødende Luftarter, indesluttet disse i Glasrør, hvorigjennem man lader slaa elektriske Gnister. Luftarternes Spektre ere i Almindelighed temmelig sammensatte; et af de simpleste er Brintens, der bestaar af 3 Linier, en rød, der falder sammen med C-Linien, en grøn af samme Brydbarhed som F-Linien og endelig en violet, der næsten falder sammen med G-Linien.

Mange af Spektrene forandre deres Udseende ved en meget høj Temperatur eller for Luftarternes Vedkommende, naar disse ere underkastede forskellige Tryk.

81. Forholdet mellem glødende Dampes og Luftarters Udstraalings- og Indsugningsevne. Kirchhoff har opdaget den vigtige Lov, at Dampe og Luftarter netop indsuge Lys af den Brydbarhed, de selv udsende i glødende Tilstand, medens de ere fuldkommen gjennemsigtige for alle andre Straalearter.

Glødende Natriumdamp udsender saaledes, som vi ovenfor have vist det, kun Straaler af samme Brydbarhed som D-Linien i Sollyset. Naar altsaa glødende Natriumdamp træffes af et Bundt Lysstraaler, der indeholde alle mulige Farvestraaler, vil den indsuge en stor Mængde af de gule Straaler, den selv udsender, medens alle de andre gaa usvækkede igjennem. Vi kunne vise dette ved forskellige Forsøg. Anbringe vi foran et Spektroskops Spalte en ikke lysende Flamme, hvori vi lade noget Kogsalt fordampe, fremkommer, som vi vide det, den gule Natriumlinie i Spektroskopet. Lade vi dernæst Straalerne fra et Stykke hvidglødende Kalk gaa igjennem Flammen, se vi i Kalklysets uafbrudte Spektrum, en mørk Linie nøjagtig paa det samme Sted, hvor vi før saa den lysende Natriumlinie. Natriumflammen indsuger altsaa det gule Lys, det hvid-

glødende Kalk udstraaler, men kun det, der netop er af samme Brydbarhed som dens eget. Lade vi et Natriumsalt fordampe i det elektriske Kullys, blive Kulspidserne omgivne af glødende Natriumdampe, og i Spektroskopet viser der sig da ligesom ovenfor en mørk Linie i den gule Del af Kullysets Spektrum, netop paa det Sted, hvor den gule Linie fremkommer, som glødende Natriumdamp for sig giver.

Lithium-, Kalium-, Strontium- og Bariumdampe give paa lignende Maade mørke Linier, der nøjagtig falde sammen med de lyse Linier, disse Metaldampe give, naar de ikke gennemstraales af Lyset fra et stærk hvidglødende Legeme.

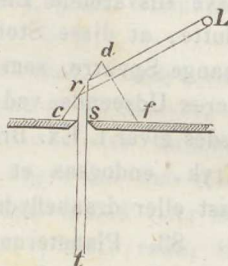
De mørke Linier vise os altsaa, at glødende Dampe og Luftarter indsuge det Lys, de selv udstraale; men da de selv stadig vedblive at udsende deres eget Lys, kunde man undre sig over, at deres Spektre saaledes »vendes om«, eftersom Linierne virkelige Klarhed ikke kan formindskes ved Gjennemstraalingen. Linierne synes i Virkeligheden ogsaa kun mørke i Modsætning til det stærke Lys, der omgiver dem. Man maa derfor ogsaa bruge en meget intensiv Lyskilde. Har det Lys, der straalere gennem en glødende Damp, kun en meget svag Intensitet, ses Flammespektret ogsaa som lyse Linier paa en svagere lysende, prismatisk farvet Baggrund.

82. Spektralanalysens Anvendelse i Astronomien. Ved den ovenfor anførte Lov om Forholdet mellem Luftarters og Dampes Indsugnings- og Udstraalingsevne har Kirchhoff forklaret Aarsagen til de frauenhoferske Linier i Solspektret. Ifølge Kirchhoffs Theori er nemlig Solen en fast eller flydende hvidglødende Klode, omgivet af en glødende Atmosfære af lavere Varmegrad og mindre Lysstyrke. Det hvidglødende Sollegeme maa da give et uafbrudt Spektrum, paa hvilket Spektrene af de Stoffer, der findes som glødende Dampe i Atmosfæren, fremtræde som mørke Linier.

For nu at finde, hvilke Stoffer der ere tilstede i Solatmosfæren, sammenlignede Kirchhoff Spektrene af forskellige glødende Dampe med Solspektret. Han anbragte i dette Øjemed foran Spaltens nederste Halvdel s et lille Glas-

prisme cdf (Fig. 76), der ved fuldstændig Tilbagekastning kastede Straalerne fra en Flamme L, hvori det Stof, der skulde undersøges, blev fordampet, ind i Spektroskopet. Lod han nu Solstraaler trænge ind gennem Spaltens anden Halvdel, viste der sig i Spektroskopet to Spektre, det ene over det andet, nemlig Stoffets lysende Liniespektrum og Solens. Paa denne Maade lader det sig meget nøje bestemme, om det først omtalte Spektrums lysende Linier falde i Forlængelsen af nogen af de frauenhoferske Linier.

Fig. 76.



Ved saadanne Undersøgelser, der senere ere fortsatte af mange andre Fysikere, har det nu ogsaa vist sig, at mange Liniespektre af de Stoffer, der findes paa Jorden, nøjagtig falde sammen med Grupper af de mørke Linier i Solspektret. Saaledes ere f. Ex. 450 af Jernets Spektrallinier nøjagtig sammenfaldende med ligesaa mange frauenhoferske; det samme vises med Titanets Spektrum, der bestaar af henimod 200 Linier. Natrium, Barium, Strontium, Kalcium, Magnesium, Aluminium, Mangan, Zink, Nikkel, Kobolt og Brint give ligeledes Spektre, hvis Linier nøjagtig have samme Brydbarhed som visse af de frauenhoferske. Denne Overensstemmelse mellem disse Stoffers Spektre og de mørke Linier i Solspektret indskrænker sig ikke alene til Brydbarheden, men den viser sig ogsaa i Henseende til den Skarphed og Tydelighed, hvormed Linierne fremtræde. Er saaledes en af Jernets Linier utydelig og udvisket, er det samme Tilfældet med den tilsvarende frauenhoferske, og omvendt, hvor en Jernlinie træder særlig skarpt frem, er den tilsvarende frauenhoferske ogsaa af særlig Skarphed.

Vi maa altsaa af disse Undersøgelser slutte, at de ovennævnte Stoffer indeholdes i Solatmosfæren i glødende Dampform.

Ved de totale Solformørkelser ser man uden om den mørke Maanerand røde, flammeligende Legemer, de saakaldte Protu-

beranser, der udgaa fra Solen, og som blive synlige ved Sollysets Bortgang. Spektralanalysen viser os, at deres Spektrum bestaar af lysende Linier. De ere altsaa glødende Luftarter; deres Spektrum viser, at de indeholde Brint.

Af den Omstændighed, at flere Elementers Spektre ikke have tilsvarende Linier i Solspektret, tør vi imidlertid ikke slutte, at disse Stoffer ikke findes i Solatmosfæren, eftersom mange Spektre, som vi tidligere (80) bemærkede det, forandre deres Udseende ved Forandring i Tryk og Varmegrad. Saaledes giver f. Ex. Brint, naar det underkastes et meget stærkt Tryk, endogsaa et uafbrudt Spektrum som et hvidglødende, fast eller draabeflydende Legeme.

83. Planeterne give ligesom Maanen det samme Spektrum som Solen, hvis Lys de tilbagekaste, dog har Uranus og Neptun et noget andet Spektrum med særegne Insugningsstriber, der tyde paa, at de ere omgivne af en meget stærk lysindsugende Atmosfære. I Fixstjernernes Spektre findes der ligesom i Solens mørke Linier. Man har ligeledes ved disse i mange Stjerner kunnet paavise Tilstedeværelsen af flere af de Stoffer, der findes her paa Jorden (Natrium, Magnium, Jern); navnlig give saa godtsom alle Fixstjerner Brintlinierne. Deres Spektre vise os, at de som Solen bestaa af en hvidglødende Kjerne, omgivet af en glødende Atmosfære. De Taagepletter, der ved stærk Forstørring kunne opløses i enkelte Stjerner, og de fleste af de uopløselige give, forsaavidt som de have tilstrækkelig Lysstyrke, Spektre af samme Klasse som Solens og Fixstjernernes; saadanne Taagepletter ere altsaa Stjernehober. Andre Taagepletter derimod have et Spektrum, der bestaar af enkelte lyse Linier; de ere altsaa glødende kosmiske Taagemasser. Hvad endelig Kometerne angaar, er Hovedets Spektrum altid et Liniespektrum, hvorimod Halens ofte er kontinuerligt. De forskjellige Kometers Spektre ere imidlertid ikke identiske.

III. Lysstraalernes forskellige Virkninger.

84. Foruden at gjøre Gjenstandene synlige for os har Lyset endnu flere andre Virkninger; Lysstraalerne kunne saaledes frembringe Varme, forene og sønderdele enkelte og sammensatte Stoffer og endelig hos visse Legemer fremkalde en særegen Lysvirksomhed.

85. Varmefordelingen i Solspektret. Lader man et Bundt Solstraaler gaa igjennem et Prisme af Stensalt, og undersøger man Varmefordelingen i det saaledes dannede Spektrum, finder man, at Temperaturen stiger fra den mest brydbare imod den mindst brydbare Del, men tilmed viser det sig, at den er størst noget udenfor det yderste røde, fra hvilket Sted den aftager jævnt til begge Sider. Vi se altsaa, at der fra Solen udgaar Straaler, der baade frembringe Lys og Varme, og at de, der have de stærkeste Varmevirkninger, ere mindre brydbare end de yderste røde Straaler. Bruge vi i Stedet for et Prisme af Stensalt et af Glas, opdage vi ingen Varmevirkning udenfor det røde, fordi Glasset indsuger de mindst brydbare Varmestraaler.

86. Lysets kemiske Virkninger. Lysets vigtigste kemiske Virkning er dets Virkning paa Plantelivet. Igjennem Bladene optage Planterne fra Luften Kulsyre, som ved Lysets Indvirkning sønderdeles i Ilt, der udaandes, og Kulstof, som optages og danner nye Forbindelser i Planten.

At det er Lyset, der bevirker denne Sønderdeling af Kulsyren, fremgaar af den Omstændighed, at den kemiske Proces om Natten eller i Mørke netop er den modsatte af den, der finder Sted om Dagen, idet Kulsyren da ikke sønderdeles, medens Ilten, der indsuges fra Luften, træder i Forbindelse med Plantens Kulstof, saa at der udaandes Kulsyre.

De forskellige Straaler i Solspektret have højst ulige Virkninger paa denne Kulsyrens Sønderdeling af Planten. Det er navnlig Størstedelen af de røde, orangefarvede og gule Straaler, der her ere virksomme; de grønne Straaler have næsten aldeles ingen Virkning; Forsøgene vise, at det ude-

lukkende er de Straaler, der indsuges af Bladgrønt (Klorofyl), der have Betydning for Plantelivet, ligesom det overhovedet kun er det Lys, Legemerne indsuge, som udøver nogen Virkning paa dem.

87. En Blanding af Klor og Brint kan opbevares i Mørke saa længe, det skal være, uden at de gaa i Forbindelse med hinanden; men udsættes den for Lyset, forene Kloret og Brinten sig til Klorbrinte; i direkte Sollys foregaar denne Forening endogsaa med en lille Explosion. Under Lysets Paavirkning har Klor en saa stærk Bestræbelse til at forene sig med Brint, at det endog udskiller den af andre Forbindelser. Saaledes kan Klorvand holde sig uforandret i Mørke, men udsættes det for Lyset, træder Kloret i Forbindelse med Vandets Brint, hvorved der frigøres Ilt.

Medens saaledes paa den ene Side Lyset kan bringe enkelte Stoffer til at indgaa kemiske Forbindelser, kan det paa den anden Side ogsaa sønderdele sammensatte Stoffer. Udsættes saaledes salpetersurt Sølv (Sølvnitrat) for Lyset, svæortes det, idet der udskilles Sølv. Klorsølv svæortes, naar det udsættes for Lyset, idet en Del af Kloret undviger, saa at der dannes en Forbindelse, der indeholder mindre Klor (Sølvkloryr). En lignende Virkning har Lyset paa Bromsølv og Jodsølv, dog paavirkes det sidste kun meget svagt.

Men foruden denne har Lyset ogsaa en anden Virkning paa disse Sølvforbindelser, idet de nemlig efterat være udsatte for Belysning lettere lade sig sønderdele, naar de komme sammen med et Legeme, der let optager den ene af deres Bestanddele, ligesom de ogsaa ved Lysets Paavirkning faa den Egenskab at fastholde Sølvpartikler, der udskilles paa deres Overflade. Det er paa denne Lysets Virkning paa disse Sølvforbindelser at Fotograferingen grunder sig.

88. Det er navnlig de mest brydbare Straaler, der ere virksomme til at frembringe disse kemiske Foreninger og Sønderdelinger. Lader man det prismatiske Solbillede falde paa et Stykke Papir, der er overtrukket med en let sønderdelelig Sølvforbindelse, ser man, at det navnlig er i Spektrets

mest brydbare Del, at Papiret farves, og tilmed viser det sig, at den kemiske Virkning ogsaa finder Sted et meget betydeligt Stykke udenfor den violette Del af Spektret. Solen maa altsaa ogsaa udsende Straaler af større Brydbarhed end de yderste violette, men som ligesom de, der ere mindre brydbare end de røde, ikke kunne opfattes af Øjet som Lys. Ved Straalernes kemiske Virkning har man kunnet fotografere den »ultraviolette« Del af Spektret, hvis Udstrækning er lige saa stor som den synlige Del. Det fotografiske Billede viser, at Spektret heller ikke i det ultraviolette er fuldkommen uafbrudt, thi der findes her ligesom i den synlige Del talrige Striber, der angive en Mangel paa Straaler af en vis Brydbarhed.

89. Undersøger man Legemernes Gjennemstraalelighed for Lys og Varme, finder man, at for samme Straaleart svækkes Lysstyrken ganske i samme Forhold som Varmen; ved intet-somhelst Middel kunne vi berøve en vis Straaleart dens varmende Virkning uden tillige at borttage Lysvirkningen. Paa samme Maade forholder det sig med de kemiske Virkninger. Varmen, Lyset og den kemiske Virkning, der frembringes af Straalerne, ere altsaa kun tre forskellige Virkninger af samme Naturkraft.

90. Fluorescens og Fosforescens. De Lysstraaler, der ikke indsuges eller gaa igjennem et Legeme, blive, som vi tidligere have set det, tilbagekastede, uden at den enkelte Straales Farve eller Brydbarhed derved i Reglen forandres. En Del Legemer vise dog med Hensyn til det Lys, de sende tilbage, et ganske ejendommeligt Forhold, idet de nemlig forandre Brydbarheden af de Straaler, de have modtaget. Legemer, der forholde sig paa denne Maade, kaldes fluorescerende.

Lader man saaledes et Bundt Solstraaler i et mørkt Værelse træffe et Stykke Flusspath (Fluorkalcium), udstraaler den belyste Del af Overfladen et ejendommeligt blaat Skjær, medens Straalerne iøvrigt gaa igjennem Krystallen uden at svækkes kjendelig. En Opløsning af svovlsurt Kinin, der belyses paa lignende Maade, antager paa Overfladen en meget smuk himmelblaa Farve, skjøndt den iøvrigt er gjennemsigtig

og klar som Vand. Stiller man en Glasbeholder med Petroleum i Sollyset, fluorescerer Overfladen med en lavendelblaa Farve.

Er et Legeme farvet, har Fluorescensen i Reglen en anden Farve end Legemets naturlige. En Opløsning af Bladgrønt i Alkohol er saaledes smaragdgrøn; udsætter man det for Sollyset, faar Overfladen et rødbrunt Skjær.

De ejendommelige Forhold ved Fluorescensen undersøges bedst ved at lade Solspektret fremkalde den.

Frembringe vi et prismatisk Solbillede paa Siden af et Glaskar, der indeholder en fluorescerende Vædske, f. Ex. svovlsurt Kinin, antager Spektret et ganske ejendommeligt Udseende. De mindst brydbare Straaler gaa uhindrede igjennem, saa at man paa Forsiden af Glasset intet ser af de røde, orangefarvede, gule og grønne Straaler med Undtagelse af de faa, der blive uregelmæssig tilbagekastede af Glasset. Først i den blaa Del af Spektret kommer Fluorescensen tilsyne, og det fluorescerende Lys viser sig endogsaa langt udenfor de yderste violette Straaler.

Undersøge vi nu dette Spektrum ved at betragte det gjennem et Prisme, iagttage vi, at det fluorescerende Lys ikke er ensartet, thi vi kunne adskille det i alle de Farver, der indeholdes i det sædvanlige prismatiske Solbillede. Af dette Forsøg følger altsaa, at Straalernes Farve og altsaa ogsaa deres Brydbarhed forandres ved Fluorescensen og det saaledes, at Brydbarheden formindskes. Vi se, at de blaa og violette Straaler ved at træffe et fluorescerende Legeme tilbagesendes som røde, gule og grønne; de ultra-violette Straaler, der ikke opfattes af Øjet, forvandles til Straaler af samme Brydbarhed som de, der findes i den synlige Del af Solspektret. Derimod kunne Straaler af mindre Brydbarhed aldrig forvandles til stærkere brydbare; thi de røde, gule og grønne Straaler forvandles aldrig til Straaler, der tilhøre Spektrets mere brydbare Del.

91. Et andet Lysfænomen, der er nøje beslægtet med Fluorescensen, er Fosforescensen, hvorved man forstaar den Ejendommelighed ved visse Legemer, at de efter at være

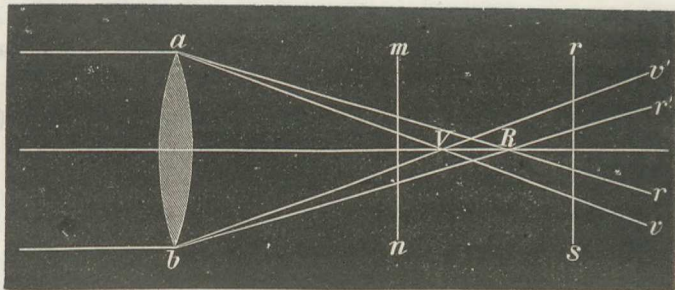
blevne bestraaede i nogen Tid kunne vedblive at udsende Lys i Mørke. Til saadanne fosforescerende Legemer høre de fleste Diamanter, der i Mørke udsende et gulagtigt eller blaligt Lys, naar de kort forud have været udsatte for stærk Belysning. Kalkspath, visse Arter Flusspath, Svovlkalcium, Svovlstrontium og Svovlbarium ere ligeledes fosforescerende. Fosforescensen kan fremkaldes og gøres mere intensiv ved Opvarming, men ophører herved ogsaa hurtigere og kan ikke atter fremkomme, uden at Legemet paany udsættes for Bestraaling.

Fosforescensen fremkaldes ligesom Fluorescensen kun ved de mest brydbare Straaler. Rødt og gult Lys frembringer ingen Fosforescens. Ligesom ved Fluorescensen er det fosforescerende Lys af mindre Brydbarhed end det, der fremkalder det.

IV. Akromatismen.

92. Den Omstændighed, at de forskjellige Farvestraaler ere af ulige Brydbarhed, frembringer en Ulempe ved de optiske Instrumenter, ved hvilke man benytter Lysets Brydning til at frembringe Billeder. Træffes saaledes en Linse af Straalerne fra et Straalepunkt, ville de violette Straaler brydes stærkere end de røde; de første ville derfor danne et Billede i V (Fig. 76),

Fig. 76.



der ligger nærmere ved Linsen end Foreningspunktet R for de røde Straaler, og mellem R og V ville Foreningspunkterne for

alle de andre Straalearter ligge. Heraf følger altsaa, at samtlige Straaler intetsteds forenes i et eneste Punkt, saa at Billedet bliver uklart og omgivet af farvede Kanter. Opfange vi saaledes Solstraaler, der ere gaaede gennem en Samlelinse, paa en Skærm mm, der holdes nærmere ved Linsen end de violette Straalers Foreningspunkt, er den cirkelrunde solbelyste Plet paa Skærmen omgivet af en rød og gul Kant; er Skærmens Afstand større end de røde Straalers Brændvidde, bliver Pletten omgivet af en blaalig Kant. Opfanges Billedet, hvor de røde og violette Straaler skære hinanden mellem disse to Straalearters Brændpunkter, er det i Midten gulgrønt, i Randen rødviolet.

Betragte vi en Gjenstand gennem et Prisme, se vi den omgivet af farvede Rande. Vi have saaledes set, at en smal, hvid Papirsstribe, betragtet gennem et Prisme, viser sig som et prismatisk Solbillede, naar vi holde den brydende Kant parallel med Striben.

Farveadspredelsen kan imidlertid delvis om ikke fuldstændig hæves ved at sammensætte flere Prismer eller Linser af forskellige Stoffer, uden at derved Brydningen ophører. Man kalder saadanne sammensatte Prismer eller Linser, der bryde Straalerne uden at frembringe nogen Farveadspredelse, akromatiske eller farvefri.

93. Akromatiske Prismer. For Prismets Vedkommende kan Farvefriheden opnaas ved at sammensætte to saadanne af forskellige Glassorter (Crownlas og Flintglas) med de brydende Kanter modsatte. (Fig. 77).

Fig. 77



Fra Lysets Brydning gennem Prismer (45) vide vi, at Afvigelsen er udtrykt ved:

$$a = i + b, - p,$$

hvor a , i , b , og p betegne de samme Vinkler som i 45.

Ere Vinklerne meget smaa, kunne vi sætte: $i = nb$ og $b = ni$, saa at $i + b = n(b + i) = np$. Under denne Forudsætning have vi altsaa

$$a = (n-1) p.$$

Tænke vi os nu, at Straalen efter at være gaaet gennem Prismet, atter brydes af et andet, hvis brydende Vinkel er p' og Brydningsforhold n' , vil dette foraarsage en ny Afvigelse

$$a' = (n' - 1) p'.$$

Da de to Prismer have deres brydende Kanter modsat Vej, vil det sidste bringe Straalen til at afvige i modsat Retning af den første, saa at Afvigelsen ved Lysets Brydning gennem begge Prismerne bliver

$$A = a - a' = (n - 1) p - (n' - 1) p'.$$

Ville vi nu bringe to Straalearter til efter Brydningen at være parallelle, maa man, naar A_r , n_r , n'_r betegne Afvigelsen og Brydningsforholdene for den ene, og A_v , n_v , n'_v de tilsvarende Størrelser for den anden, have:

$$A_r = (n_r - 1) p - (n'_r - 1) p' = A_v = (n_v - 1) p - (n'_v - 1) p',$$

hvoraf

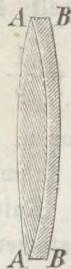
$$\frac{p}{p'} = \frac{n'_v - n'_r}{n_v - n_r}.$$

Man kan saaledes beregne p' , naar p og Brydningsforholdene ere givne. Vare Prismerne af samme Glassort blev $p = p'$, og tillige $A_r = A_v = 0$. Ved saadanne Prismer kan man altsaa ikke ophæve Farveadspredelsen uden tillige at ophæve Brydningen.

Da Brydningsforholdene for samme Straalearter ikke ere proportionale for forskellige Stoffer (68), kan man ved at sammensætte to Prismer kun bringe to Farvestraaler til at blive parallelle; men vælges disse paa en passende Maade, bliver de øvriges Mangel paa Parallelisme saa ringe, at Farveadspredelsen ikke kan bemærkes af Øjet.

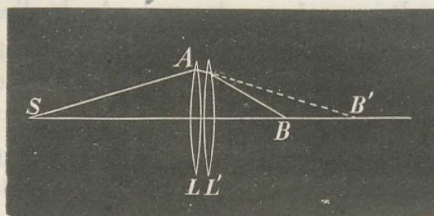
94. Akromatiske Linser. Ved Linser hæves Fig. 78. Farveadspredelsen ved at sammensætte en Samle- og en Spredelinse A og B (Fig. 78) af to forskellige Glas-

sorter (Crown- og Flintglas). For at indse, hvorledes Farveadspredelsen paa denne Maade kan hæves, maa vi først betragte Straalernes Gang gennem to Linser, der støde umiddelbart op til hinanden.



Lad S (Fig. 79) være et Straalepunkt og B' dets Billede, dannet af den forreste Linse L . Kalde vi Afstanden fra S til

Fig. 79.



L a, Afstanden fra B' til L' samt Brændvidden p , have vi (53)

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{p}.$$

Efter at være gaaede igjennem L ville Straalerne imidlertid brydes af den anden Linse L' saaledes, at de i Stedet for i B' forenes i B , der altsaa bliver Billedet af S . Vi kunne nu ligesom i 51 betragte B' som et indbildt Billede af B ; kalde vi altsaa Afstand fra B til L' f og denne Linses Brændvidde p' , have vi

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{f'} = \frac{1}{p'},$$

hvilken Ligning adderet til den ovenfor staaende giver

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{P}.$$

To Linser, der berøre hinanden, ville altsaa virke som en enkelt, hvis Brændvidde P er bestemt ved

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) + (n'-1) \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{r'''} \right),$$

hvor n , r og r' samt n' , r'' og r''' betegne Brydningsforholdet og Krumningsradierne henholdsvis i den første og anden Linse.

Kalde vi Billedpunktets Afstand fra Linsesystemet og Systemets Brændvidde for en vis Straaleart henholdsvis f_r og

P_r og de tilsvarende Størrelser for en anden Straaleart f_v og P_v , have vi

$$\frac{1}{f_r} = \frac{1}{P_r} - \frac{1}{a} \text{ og}$$

$$\frac{1}{f_v} = \frac{1}{P_v} - \frac{1}{a}.$$

Skulle de to Straalearter have samme Foreningspunkt, bliver $f_r = f_v$, hvorefter

$\frac{1}{P_r} = \frac{1}{P_v}$ eller $\frac{1}{p_r} + \frac{1}{p'_r} = \frac{1}{p_v} + \frac{1}{p'_v}$, hvilken Ligning kan skrives

$$\frac{1}{p_v} - \frac{1}{p_r} = -\frac{1}{p'_v} + \frac{1}{p'_r}, \text{ hvorefter}$$

$$\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)(n_v - n_r) = \left(\frac{1}{r''} + \frac{1}{r'''}\right)(n'_r - n'_v).$$

Da man altid har i numerisk Værdi $p_r > p_v$ og $p'_r > p'_v$, vise Udtrykkene, at Brændvidden for den ene af Linserne maa være negativ, saa at man altsaa maa sammensætte en Samlelinse og en Spredelinse for at opnaa Farvefrihed.

Vare Linserne af samme Glassort, blev $n_r = n'_v$ og $n_r = n'_r$, hvorved P_r og P_v bleve uendelig store, saa at Brydningen altsaa blev ophævet.

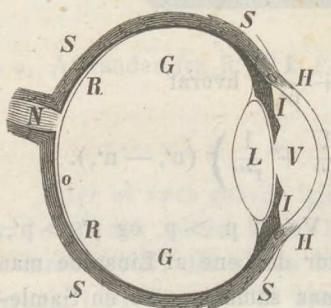
Ligesom ved Prismes kan man ved at sammensætte to Linser kun opnaa, at to Farvestraaler faa samme Foreningspunkt. Vilde man bringe tre Farvestraaler til at forenes i samme Punkt, maatte man sammensætte tre Linser o. s. v. En fuldstændig Farvefrihed kan altsaa ikke opnaas, men ved en Sammensætning af to Linser kan Farveadspredelsen gøres saa ringe, at den næppe bemærkes.

Femte Kapitel.

Øjet og Synet.

95. Øjets Indretning. Vort Synsredskab er at betragte som et mørkt Kammer, paa hvis Inderside der dannes om-

Fig. 80.



vendte Billeder af de Gjenstande, vi se. Øjeæblet eller Øjekuglen, der i sin Form nærmer sig Kuglens, er yderst omgivet af en fast og haard Hinde, Senehinden S (Fig. 80), der kun paa dens forreste Side er gjennemsigtig. Denne gjennemsigtige Del, der tillige er stærkere udhælvket end den øvrige, kaldes Hornhinden H. Indenfor Senehinden udbreder Aarehinden sig; paa Figuren er denne angivet

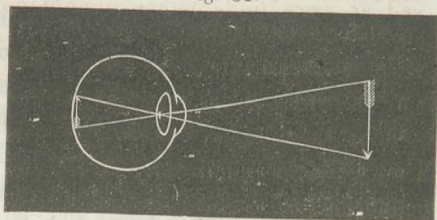
ved en sort Linie. Den er opfyldt af et mørkt Farvestof, hvorved Tilbagekastning af Lyset forhindres fra de Dele af Øjets Indre, der belyses af de indtrædende Straaler. Gennem Senehinden og Aarehinden træder Synsnerven N ind og udbreder sig over den sidstnævnte som en meget tynd, gjennemsigtig Hinde, Nethinden RR. Bagved Hornhinden findes en ringformig flad Hinde, Regnbuehinden eller Iris I, der ligesom Aarehinden er opfyldt med et Farvestof, hvis Farve bestemmer Øjets. Den kredsformige Aabning i Midten af Regnbuehinden kaldes Øjeaabningen eller Pupillen, som ved en særegen Muskel kan udvides eller sammentrækkes, alt eftersom der trænger lidet eller meget Lys ind i Øjet. Bagved Pupillen ligger Krystallinsen L, der er befæstet til Senehinden, og for hvilken Regnbuehinden danner en Blænding, saa at den kun kan træffes af de centrale Straaler, der trænge

ind gennem Øjeaabningen. Rummet mellem Hornhinden og Linsen, det forreste Øjekammer, er opfyldt af en vandklar Vædske, Vandvædsken V; i det bageste Øjekammer mellem Linsen og Nethinden findes der et geleagtigt, gjennemsigtigt Legeme, Glaslegemet G, der er gennemtrængt af en vandklar Vædske, Glasvædsken.

96. Billeddannelsen i Øjet. Alle de gjennemsigtige Dele af Øjet, Hornhinden, Vandvædsken, Krystallinsen og Glaslegemet med Glasvædsken danne tilsammen en Række af krumme Flader begrændsede Stoffer, hvis Brydningsforhold ere noget forskellige. Linsen bryder Lyset noget stærkere end Vandet; de øvrige Dele have omtrent samme Brydningsforhold som dette. De Straaler, der udgaa fra et Punkt, ville altsaa, naar de træde ind i Øjet, først brydes af Hornhinden og derved bringes til at blive sammenløbende; Krystallinsen bryder dem dernæst yderligere, og er Straalepunktet i en passende Afstand, vil Billedpunktet komme til at ligge paa Nethinden.

Alle de ovennævnte gjennemsigtige Legemer virke tilsammen omtrent som en enkelt Samlelinse, hvis Axe falder sammen med Øjeaxen, eller Linien igjennem Midtpunkterne af Pupillen og Krystallinsen, og hvis optiske Midtpunkt, der her kaldes Knudepunktet, ligger noget foran Linsens bageste Flade. Af en Gjenstand, der ligger foran Øjet, vil der altsaa dannes et omvendt og virkeligt Billede, forudsat at den ikke ligger Øjet for nær, og naar vi se tydelig, dannes Billedet altid paa Nethinden. Konstruktionen af Billedet er i dette Tilfælde meget simpel, idet vi blot behøve at drage Linier fra Gjenstandens forskellige Punkter

Fig. 81.



gennem Knudepunktet; hvor disse Linier træffe Nethinden, dannes Billederne af de Punkter, hvorfra Linierne ere dragne (Fig. 81).

At der virkelig dannes et Billede, kan direkte vises ved Forsøg. Man kan nemlig ligefrem gjøre Nethindebilledet synligt i et nylig udtaget Øje, naar man forsigtig borttager den bageste Del af Sene- og Aarehinden, saa at Nethinden blottes. Vender man et saadant Øje med Hornhinden mod en nogenlunde lysklar Gjenstand, iagttager man et lille og omvendt Billede paa den blottede Del af Nethinden.

97. Af den Maade, paa hvilken Billedet dannes i Øjet, indses det let, at Billedets Størrelse i lineær Udstrækning staar i omvendt Forhold til Gjenstandens Afstand eller forholder sig ligefrem som Synsvinklen; Billedets Flademaal forholder sig altsaa omvendt som Kvadratet af Afstanden til Gjenstanden. Da den Lysmængde, der fra Gjenstanden udsendes til Øjet, forholder sig omvendt som Afstandens Kvadrat, følger altsaa heraf, at Belysningen af Billedet i Øjet eller den tilsyneladende Klarhed er uafhængig af Afstanden, hvorfor Gjenstanden ses med samme Klarhed, enten den er langt borte eller nærværende, under Forudsætning af, at intet Lys tabes paa Vejen.

98. Alle Dele af Nethinden ere ikke lige modtagelige for Lysindtryk; man ser tydeligst, naar Billedet dannes paa et bestemt Sted, den saakaldte »gule Plet« (Fig. 80 o), hvor Nethinden er tyndest, og som ligger omkring Øjeaxens Skjæringspunkt med denne. Man retter derfor, naar man fixerer en Gjenstand, altid Øjeaxen saaledes, at Billedet dannes paa det omtalte Sted.

Et andet mærkeligt Sted paa Nethinden er »det blinde Punkt«, der findes, hvor Synsnerven træder ind. Dette Sted udmærker sig ved at være fuldkommen uimodtageligt for Lysindtryk; i begge Øjnene ligger det blinde Punkt noget henimod Næsen. Dannes Nethindebilledet paa dette Sted, vil man altsaa intet se. Man kan overbevise sig om Tilstedeværelsen af det blinde Punkt ved paa et Stykke Papir at lægge to Oblater i omtrent 3 Tommers Afstand fra hinanden og betragte den venstre Oblat med det højre Øje, medens man holder det andet lukket. Holder man det højre Øje i omtrent

10 Tommers Afstand lige ud for den venstre Oblat, forsvinder den tilhøjre, medens man samtidig kan se rundt omkring den. Skal Forsøget lykkes, maa man rette Blikket fast paa den Oblat, man betragter; endvidere maa de to Oblaters Midtpunkter og Øjeaabningen ligge i samme paa Papiret vinkelrette Plan.

99. Akkommodationen. Fra det tidligere lærte vide vi, at Billedets Afstand fra en Linse afhænger af Gjenstandens. Da vi kun se tydelig, naar Billedet dannes paa Nethinden, vilde dette altsaa kun finde Sted for en bestemt Afstand, hvis Øjet var et uforanderlig Linseapparat. Den daglige Erfaring viser os imidlertid, at Øjet er i Stand til at afpasse sig efter Afstanden, idet vi kunne se skarpt i forskellige Afstande. Fixere vi saaledes en nærliggende Gjenstand, dannes Billedet af denne paa Nethinden, medens Billederne af fjernere liggende komme til at ligge foran samme, hvorfor de ogsaa ses utydelige. Fixere vi omvendt en fjernere liggende Gjenstand, ere de nærmere liggende ikke tydelige, fordi deres Billeder ligge bag ved Nethinden. Disse Iagttagelser vise os altsaa, at de Lysstraaler, der fra et givet Punkt sendes ind i Øjet, brydes forskellig, eftersom vi betragte en nærmere eller fjernere Gjenstand.

Den ejendommelige Forandring, der altsaa maa foregaa i Øjets Tilstand, og som bevirker, at vi snart kunne se nære, snart fjerne Gjenstande tydelig, kalder man Øjets Akkommodation.

Undersøgelser, der ere anstillede herover, have godtgjort, at Akkommodationen hidrører fra en forskellig Krumning af Krystallinsen, navnlig af dennes forreste Flade. Naar vi betragte nære Gjenstande, er Linsen mere krummet, end naar Øjet fixerer et langt bortfjernet Punkt. I sidste Tilfælde ligge Billederne af de nærmere liggende Gjenstande i en større Afstand fra Linsen end Nethinden; akkommodere vi dernæst Øjet for et nærmere liggende Punkt, krumme vi Linsen stærkere, hvorved Brændvidden og følgelig Billedets Afstand bliver mindre, saa at dette kan komme til at ligge paa Nethinden.

100. Øjets Evne til at akkommodere sig er imidlertid begrændset. Ligger Gjenstanden Øjet meget nær, kan Linsen ikke krummes saa stærkt, at Billeddannelsen kan finde Sted paa Nethinden. Den Afstand, for hvilken Øjet kan akkommodere sig er forskjellig hos de forskjellige Personer. Man kalder det nærmeste Punkt, for hvilket Øjet fuldstændig kan akkommodere sig, Nærpunktet, det fjerneste Fjernpunktet. Nærpunktets Afstand fra Øjet kaldes Synsvidden. For et normalt Øje er denne Afstand 8 til 10 Tommer, Fjernpunktet ligger derimod overordenlig langt borte. For ethvert Øje gives der en vis Afstand, for hvilken det akkommoderer bedst. Man kalder denne den tydelige Synsvidde.

Øjne, hvis Fjernpunkt ligger i en meget ringe Afstand, kaldes nærsynede (myopiske); Nærpunktet ligger her i en Afstand af kun 2—3 Tommer. Ved langtsynede (presbyopiske) Øjne ligger Nærpunktet forholdsvis langt borte, ofte i flere Fods Afstand. Nærsynethed findes navnlig i en ung Alder; Langtsynethed derimod fornemmelig hos ældre.

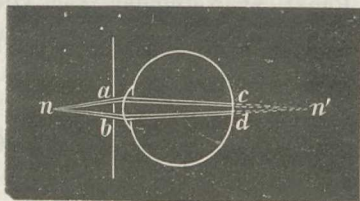
For at afhjælpe disse Ulemper ved Synet, der fremkomme ved en for stærk eller svag Krumning af Linsen, bruger man Brillen. For nærsynede ere Brillen konkave Linser, hvorved Straalerne brydes som om de kom fra en Gjenstand, der ligger nærmere end den virkelige. Skulle langtsynede Personer se nærvæd, maa de bruge konvekse Brillen, der bryde Straalerne fra et nært liggende Punkt, som om de kom fra et fjernere liggende.

101. Synet gennem smaa Aabninger. Betragter man en Gjenstand gennem en lille Aabning, f. Ex. et Naalestik i et Kortblad, kan man se den tydelig selv om den holdes ganske nær til Øjet. Dette hidrører fra, at de Lyskegler, der fra de enkelte Punkter gennem Aabningen trænge ind i Øjet, ere saa snævre, at Nethindebilledet bliver temmelig skarpt, selv om de virkelige Foreningspunkter ligge bag ved Nethinden. Billedet dannes altsaa her paa lignende Maade som naar Lyset trænger ind gennem en snæver Aabning i et mørkt Kammer (7). Paa Grund af Gjenstandens lille Afstand

ses den under en stor Synsvinkel, saa at den lille Aabning her virker som et Forstørrelsesglas (109). Da Lysstraalerne ikke fylde hele Øjeaabningen, viser Gjenstanden, set paa denne Maade, sig temmelig mørk.

Stikker man i et Kortblad to smaa Huller, hvis Afstand maa være mindre end Øjeaabningens Diameter, og betragter man gennem disse en smal Gjenstand, f. Ex. en Naal, der maa holdes vinkelret paa Aabningernes Forbindelseslinie, ses Naalen dobbelt, naar den holdes indenfor Nærpunktet. I dette Tilfælde ville nemlig Straalekeglerne na og nb (Fig. 82) gennem

Fig. 82.



Aabningerne have deres For- eningspunkt n' bag ved Øjet, saa at hver Straalekegle frem- bringer sit Billede c og d paa Nethinden. Tildækker man nu den højre Aabning a , vil den Naal, man ser tilvenstre forsvinde, uagtet det er det højre Nethindebillede c , der herved gaaer bort; det omvendte finder Sted, naar den venstre Aabning b tildækkes. Aarsagen hertil ligger i, at Nethindebillederne ere omvendte, saa at man altid søger et Lysindtryk, der fremkommer paa Nethindens højre Side, som kommende fra venstre, og omvendt.

Fjernes Naalen til Afstanden bliver lige stor med Syns- vidden, ville de to Straalekegler forenes paa Nethinden, og man ser saaledes kun ét Billede. Paa denne Maade kan man finde Nærpunktets Afstand. Rykkes Naalen længere bort, saa at den kommer udenfor Fjernpunktet, ville de to Straalekegler skære hinanden, førend de naa Nethinden, og der vil saaledes atter fremkomme to Nethindebilleder; men i dette Tilfælde dannes det venstre af disse af Straalekeglen, der trænger gennem den højre Aabning, og omvendt. Tildækker man derfor den højre Aabning, ser man, at det højre Dobbeltbillede af Naalen forsvinder. Man kan paa denne Maade ligeledes bestemme Fjernpunktets Afstand.

102. Synsopfattelsen. Man har tidligere beskæftiget sig meget med det Spørgsmaal, hvorledes vi kunne se Gjenstandene i deres sande Stilling, skjøndt Nethindebillederne ere omvendte. Vi se imidlertid ikke det optiske Billede, enhver Gjenstand, vi betragte, danner paa Øjets Baggrund. Til den Erkjendelse, at et saadant Billede eksisterer, komme vi kun ved Undersøgelser; vi kunne ikke sandse, om det er den højre eller venstre, nedre eller øvre Del af Nethinden, der paavirkes af Lyset. En lang Erfaring har lært os at søge Retningen af en Lysstraale, der træffer den øverste Del af Nethinden, som kommende fra neden og omvendt. Paavirkes derfor et bestemt Punkt af Nethinden ved Øjets normale Stilling, vide vi af Erfaringen, i hvilken Retning den Gjenstand ligger, der udsender Lyset. Give vi derfor Øjet ved Tvang en unaturlig Stilling, vil Billedet dannes paa et andet Sted end det sædvanlige, og vi søge derfor Gjenstanden i en falsk Retning, idet vi tro at se den der, hvor den maatte være for at danne et Billede paa samme Sted af Nethinden, naar Øjet var i sin naturlige Stilling. Føre vi saaledes en Finger ind under det ene Øje, og forskyde vi herved dette nedenfra opad, ville vi ved at betragte en lille Gjenstand, f. Ex. en Lysflamme, se denne dobbelt, idet det Øje, der ved Trykket er bragt ud af sin naturlige Stilling, søger Gjenstanden i en anden Retning end den virkelige, hvori vi se den med det andet Øje.

Ved Lysets Paavirkning af Nethindens enkelte Dele kunne vi saaledes sandse den Retning, hvori Gjenstandene befinde sig. Vi bedømme imidlertid ved vort Syn mere end Retningen; vi kunne nemlig ogsaa se, at en Gjenstand ligger nærmere eller fjernere end en anden, skjøndt Nethindebilledet kun har Udstrækning i to Retninger.

At vi ogsaa kunne bedømme Afstanden, er ligeledes en Følge af en Række Erfaringer. Vi vide saaledes, at en Gjenstands Synsvinkel bliver mindre, naar Afstanden voxer, og vi have allerede herved et Middel til at bedømme Afstanden. Staa vi nær ved et Træ, kunne vi se de enkelte Blade; i større Afstand derimod ikke. Af de Enkeltheder, vi kunne se

paa en Gjenstand, slutte vi os derfor til Afstanden. Til Bedømmelsen af Afstanden tjener ogsaa den ejendommelige Uklarhed, hvori langt bortfjernede Gjenstande ses, hvorved Omridsenes Skarphed og Modsætningen mellem Lys og Skygge i høj Grad formindskes. Heraf kommer det, at Gjenstandene synes os nærmere, naar Luften er renere end sædvanlig. Kommer en Slettebeboer op paa Bjergene, bedømmer han derfor alle Afstande for korte.

Hvor saadanne Erfaringer mangle, kunne vi heller ikke danne os rigtige Forestillinger om de Gjenstande, vi se. Personer, der først i en ældre Alder have faaet deres Syn, ere derfor i den første Tid, efter at de ere blevne seende, ikke i Stand til at bedømme Afstande, Gjenstandenes Størrelser og Former, Retninger o. s. v.

Til at skjønne Afstanden hjælper endvidere Akkommodationen, idet vi af Erfaringen vide, at Øjet maa akkommodere sig anderledes for nære end for fjerne Gjenstande.

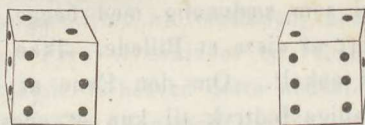
103. Se vi som sædvanlig med begge Øjnene, dannes der altsaa i hvert af disse et Billede. Ikke desto mindre se vi en Gjenstand enkelt. Om den Evne at kunne sammenmelte to forskellige Indtryk til kun et eneste er tillært os ved en Række Erfaringer, eller om den har sin Aarsag i Øjets Bygning, er et i Fysiologien omtvistet Spørgsmaal. Iøvrigt er dette ikke noget for Synet særegent. Skjøndt vi modtage et Lydindtryk med begge vore Øren, høre vi dog kun en enkelt Lyd. Holde vi en Gjenstand i Haanden, modtage vi en Mængde forskellige Følelsesindtryk, som vi opfatte som hidrørende fra kun et Legeme. Imidlertid se vi kun enkelt, naar vi fixere en Gjenstand med begge Øjnene, hvorved Net-hindebillederne dannes i Omegnen af Øjeaxerne. Dannes Billederne derimod paa andre Steder, se vi Dobbeltbilleder. Fixere vi saaledes en Finger, vi holde op for Øjet, ses en bagved liggende Gjenstand dobbelt; fixere vi omvendt et fjernere Punkt, se vi Fingeren dobbelt.

Synet med to Øjne frembyder visse Ejendommeligheder, der hjælpe os til at opfatte Dybden i Rummet bedre end med

et. Fixere vi med begge Øjnene et Punkt, rette vi dem saaledes, at begge Øjeaxerne skære hinanden i dette. Betragte vi et nært liggende Punkt, blive Axerne altsaa stærkt konvergente; se vi derimod paa en fjernere Gjenstand, ere de omtrent parallelle. Vi blive saaledes paa en vis Maade underrettede om Afstanden ved den Spænding, vi maa give de Muskler, hvorved vi dreje Øjnene.

Langt vigtigere er imidlertid den Omstændighed, at Billederne i de to Øjne ikke ere ens. Betragte vi samme Gjenstand fra forskellige Standpunkter, vil den ikke se ens ud; vi se fra det ene Sted andre Dele af Gjenstanden end fra det andet. Paa samme Maade forholder det sig med vore Øjne; med hvert af dem se vi ikke det samme Legeme ganske paa samme Maade som med det andet. Betragte vi f. Ex. en Tærning (Fig. 83), som er stillet midt imellem begge Øjnene,

Fig. 83.



se vi kun med det høire Øje Tærningens højre Side og omvendt den venstre Side alene med det venstre Øje.

Hvor meget denne Forskjel i Nethindebillederne hjælper til at frembringe et perspektivisk Indtryk, kunne vi vise ved et overmaade simpelt Forsøg. Stille vi en Stok op i kort Afstand fra en Væg, og betragte vi den i nogen Tid alene med det ene Øje, ser det ud, som om Stokken stod umiddelbart op ad Væggen. Aabne vi dernæst det andet Øje, synes Stokken pludselig at springe frem foran Væggen.

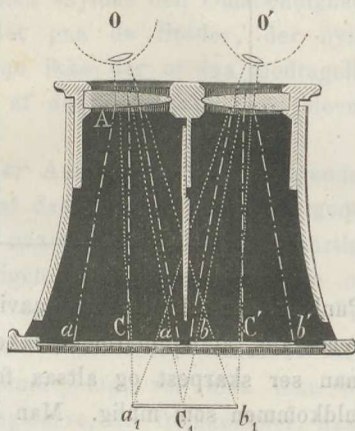
Ethvert Maleri gjør derfor kun et mangelfuldt perspektivisk Indtryk, eftersom vi se det paa samme Maade med begge vore Øjne.

104. Stereoskopet. Hvilken Indflydelse Nethindebilledernes Forskjellighed udøver paa vor Opfattelse af Dybden

i Rummet er experimentalt godgjort af Wheatstone ved det af ham opfundne Stereoskop. I den Form, hvori det nu hyppigst bruges, bestaar det af en i to Afdelinger inddelt Kasse (Fig. 84).

I Bunden af hver af disse er der anbragt to Tegninger aa' og bb' af samme Gjenstand; men den ene er tegnet saaledes, som Gjenstanden ses af det højre Øje, den anden saaledes, som den ses af det venstre. Disse Tegninger betragtes gennem to halve Samlelinser eller Prismes A, hvis Afstand er lige stor med Øjnenes, der anbringes ved O og O'. Billederne af to tilsvarende Punkter C C' paa begge Tegningerne dannes af begge Linserne paa samme Sted C₁, og paa samme Maade komme Billederne af alle de øvrige tilsvarende Punkter til at falde sammen. Hvert Øje ser altsaa sit Billede a₁b₁ paa samme Sted ganske paa samme Maade som en virkelig Gjenstand.

Fig. 84.

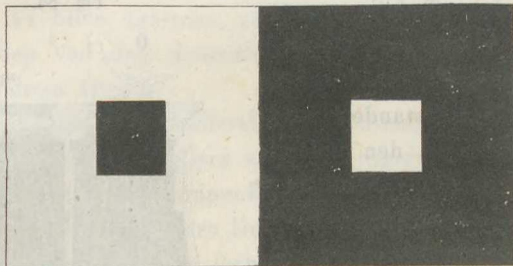


Dette Instruments Virkning er særdeles overraskende, og Synsindtrykket er ganske det samme, som om man saa de Gjenstande, Billederne forestille.

105. Irradiationen. Irradiationen er et Fænomen, der bestaar deri, at en hvid Flade viser sig større end en ligesaa stor mørk, der ses under samme Synsvinkel. Saaledes synes den hvide Kvadrat i Figur 85 at være større end den sorte, skjøndt de i Virkeligheden ere lige store. Det skyldes ligeledes Irradiationen, at den belyste Del, vi se af Maanen de første Dage efter Nymaane, synes at tilhøre en større Skive end den øvrige svagt belyste, askegraa Del. Skal Irradiationen træde tydelig frem, maa Belysningen være stærk, og den hvide Flade betragtes i en Afstand af mindst flere Fod.

Aarsagen til Fænomenet har man forklaret ved at antage, at Lysindtrykket paa Nethinden udbreder sig noget udenfor de

Fig. 85.



Punkter, der ikke direkte paavirkes. Imidlertid maa dog hertil bemærkes, at Irradiationen ikke viser sig i den Afstand, hvori man ser skarpest og altsaa formaar at akkomodere Øjet saa fuldkommen som mulig. Man har derfor ogsaa søgt Aarsagen i en ufuldkommen Akkommodation, saa at Straalekeglerne ikke nøjagtig forenes i Punkter, men i smaa »Spredekredse« paa Nethinden.

106. Lysindtrykkets Varighed. Den Tid, et Lysindtryk i Øjet maa vare, førend det kommer til vor Bevidsthed, er saa lille, at vi ikke kunne angive dens Længde. Vi kunne f. Ex. tydelig opfatte Legemernes Former og Udseende, naar de i Mørke oplyses af Lynet, hvis Varighed anslaaes til mindre end $\frac{1}{2000}$ af et Sekund. Vi kunne ligeledes tydelig se Gjenstande, der belyses af den elektriske Gnist, skjøndt denne ikke varer $\frac{1}{1000000}$ Sekund.

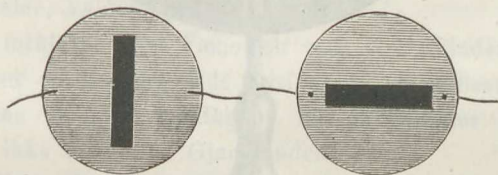
Er paa den anden Side Belysningen ophørt, forsvinder Lysindtrykket i Øjet ikke dermed, idet det vedbliver en meget kjendelig Tid. Man kan paa mange Maader let iagttage Tilstedeværelsen af de herved fremkaldte »Efterbilleder«. Slukker man f. Ex. en Lampe, idet man fixerer den med Øjet, vedbliver man i nogen Tid at se et Billede af den i Mørket. Jo lysere en Gjenstand er, desto lettere frembringes der saadanne Efterbilleder. Ser man f. Ex. blot et Øjeblik

paa Solen, fremkommer der strax et Efterbillede, naar vi lukke Øjnene eller vende dem mod en mørk Væg. Rette vi derimod Øjnene mod en stærk belyst Flade efter at have fixeret en lysende Gjenstand, se vi et mørkt Efterbillede paa den lyse Grund. Dette Fænomen skyldes den Omstændighed, at Nethinden er bleven trættet paa de Steder, der nylig modtog Lysindtryk, hvorfor den ikke der er saa modtagelig for nye Indtryk som de Dele af den, der ikke vare blevne paavirkede.

Lysindtrykkets Vedvaren er Aarsagen til det bekjendte Fænomen, at man ser en Del af den Vej, et lysende Legeme beskriver i Mørke, som f. Ex. naar en Glød bevæges hurtig, Fyrværkeriraketternes Haler, ligeledes at Regndraaberne og Snefnugene under deres Fald se ud som Streger o. s. v. Sættes en Skive, der er inddelt i Sektorer, bemalede med forskellige Farver, i hurtig Omdrejning, ser man ikke de enkelte Farver, men den Blandingsfarve, der fremkommer, naar Øjet modtager dem alle samtidig.

107. Paa Lysindtrykkets Varighed grunder sig flere Apparater, der anvendes som Legetøj. Et saadant er f. Ex. Thaumatrophen, en rund Papskive (Fig. 86), i hvilken der findes to

Fig. 86.

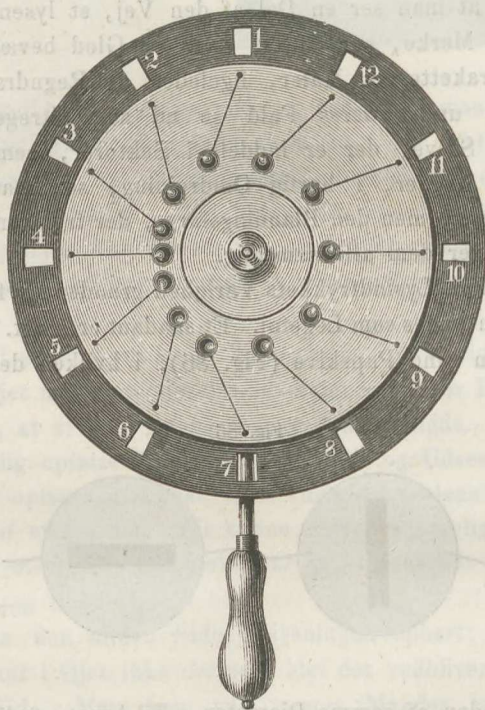


Huller i Enden af samme Diameter. Til hvert af disse er der fastgjort et lille Stykke Traad. Triller man Traaden mellem Fingrene, faar man afvekslende den ene og den anden Side til at vende opad. Er der nu paa hver af disse tegnet en forskjellig Figur, ser man begge Figurene paa en Gang, naar Skiven drejes tilstrækkelig hurtig. Har man f. Ex. paa den

ene Side tegnet en Streg i Retning mellem Hullerne, og paa den anden en Streg, der er vinkelret paa den førstes Retning, ser man et Kors, naar man triller Traaden hurtig mellem Fingrene.

Ved Fenakistoskopet frembringer Lysindtrykkets Vedvaren et Indtryk af en Bevægelse af visse Figurer. Det bestaar af to til hinanden fastklemte Skiver, befæstede til samme Axe. Den ene af disse rager med sin Rand noget ud over den anden og er her forsynet med et vist Antal Huller (Fig. 87). Paa

Fig. 87.



den mindre Skive er den samme Figur f. Ex. et Pendul tegnet, men i forskjellige Stillinger. Under Aabningen 1 ses saaledes Pendulet i sit største Udsving; under 2 er Pendulet tegnet noget nærmere sin Hvilestilling o. s. v.; hele Rækken at

Figurerne forestiller forskellige paa hinanden følgende Stillinger i et Penduls frem- og tilbagegaaende Bevægelse. Apparatet anvendes saaledes, at man holder det op foran et Spejl og betragter Spejlbilledet gennem en Aabning. Drejer man det nu hurtigt rundt, ser man kun Spejlbillederne, hver Gang en Aabning gaar forbi Øjet. Man ser saaledes hver Gang Pendulerne paa samme Sted, men i Stillinger, der kun ere lidet forskellige fra de foregaaende, saa at Øjet ikke iagttager det springvise i Overgangen, hvorfor man tror at se en fortsat Bevægelse, som om Pendulerne virkelig svingede. Omdrejnings-hastigheden maa være afpasset saaledes, at Efterbillederne netop faa Tid til at forsvinde i den Tid Øjet intet ser; drejer man nemlig hurtigere, ser man flere af Billederne paa en Gang, hvorved Indtrykket forstyrres.

108. Subjektive Farve- og Lysindtryk. Fixerer man i nogen Tid en farvet Plet paa hvid Grund, og vender man derpaa Blikket mod et andet Punkt af den hvide Flade, ser man et Efterbillede med komplementær Farve. Stirrer man f. Ex. i nogen Tid paa en rød Oblat, der ligger paa et Stykke hvidt Papir, og retter man dernæst Blikket mod et andet Sted af dette, ser man et grønligtblaat Efterbillede. Ved en blaa Oblat bliver Efterbilledet gult o. s. v. Saadanne Farveindtryk, der ikke foraarsages ved, at Øjet paavirkes af de tilsvarende Farvestraaler, kaldes subjektive.

Man forklarer dette Fænomen ved, at Nethinden er bleven trættet ved en længere Tids Lysindtryk af en bestemt Farve, hvorfor den er mere modtagelig for de Straaler i det hvide Lys, der ikke indeholde Gjenstandens Farve.

Til disse Farvefænomener maa de farvede Skygger ogsaa henregnes. Lader man et Legeme kaste en Skygge i farvet Lys, ses denne komplementær farvet, naar den belyses af hvidt Lys. Lader man f. Ex. Straaler, der ere gaaede igjennem et Stykke rødt Glas, falde paa et Stykke hvidt Papir, vil den Skygge, en eller anden Gjenstand kaster paa Papiret, vise sig blaagrøn, naar den belyses af Dagslyset.

Betragter man en graa Gjenstand paa hvid Grund, synes den mørkere end en dermed ensfarvet paa sort Grund, fordi det stærkere Lys, Øjet modtager fra den hvide Flade, trætter det noget, saa at det ikke er saa modtagelig for det svage Lys fra den graa Flade som naar denne ligger paa et mørkt Underlag.

Sjette Kapitel.

Mikroskoper og Kikkerter.

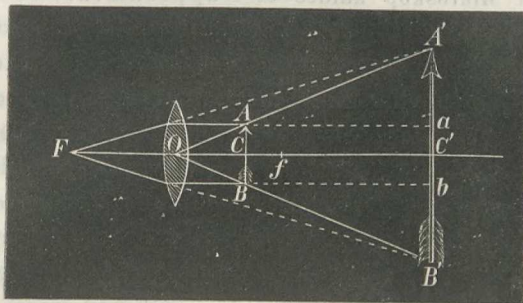
I. Mikroskoper.

109. Jo nærmere vi bringe en Gjenstand til vort Øje, desto mere voxer dens Synsvinkel, og desto flere Enkeltheder kunne vi derfor iagttage. Imidlertid har den Afstand, indenfor hvilken vi tydelig kunne se en Gjenstand, som vi fra det foregaaende vide det (100), en Grændse. Vi maa derfor betjene os af optiske Hjælpemidler, naar vi ville iagttage Gjenstande, der ere saa smaa, at vi ikke kunne se dem med blotte Øjne. Ethvert Instrument, der tjener til, at vi kunne betragte smaa Gjenstande under større Synsvinkler, end naar vi se dem med blotte Øjne i Synsviddens Afstand, kaldes et Mikroskop.

110. Det enkelte Mikroskop. Det simpleste af denne Art Mikroskoper er Forstøringsglasset eller Lupen, der ikke er andet end en enkelt Samlelinse med kort Brændvidde (Fig. 88). Betragte vi en Gjenstand AB gennem en Lupe, maa Gjenstanden holdes indenfor Brændpunktet f. Der bliver da, som vi fra det tidligere vide det (57), dannet et indbildt, forstørret og opret Billede A'B', som Øjet iagttager ligesom

en virkelig Gjenstand, naar det holdes tæt bag ved Linsen. Skal dette Billede ses saa skarpt som muligt, maa det være

Fig. 88.



i den tydelige Synsviddes Afstand fra Linsen.

Forstørrelsen angives ved Forholdet mellem Billedets og Gjenstandens tilsyneladende Størrelser, naar de begge betragtes i den tydelige Synsviddes Afstand. Tænke vi os altsaa Øjet i O, og Gjenstanden forflyttet til ab i samme Afstand fra Linsen som Billedet, indses det, at dette Forhold angives ved Forholdet mellem Billedets og Gjenstandens virkelige Størrelser. Af Figuren ses let, at $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OC'}{OC} = \frac{s}{a}$, naar vi betegne den tydelige Synsvidde med s og Gjenstandens Afstand ved a. Det sidste Forhold, der altsaa angiver Forstørrelsen,

findes af Ligningen $\frac{1}{a} - \frac{1}{s} = \frac{1}{p}$,

$$\text{hvoraf} \quad \frac{s}{a} = 1 + \frac{s}{p}.$$

En Lupe forstørrer altsaa desto mere, jo mindre dens Brændvidde er.

111. Vil man altsaa opnaa en stor Forstørrelse med en enkelt Linse, maa dens Brændvidde være meget lille; men herved indtræder den Ulempe, at Krumningen bliver meget stor, saa at man kun kan benytte en meget lille Del af Overfladen, hvorved Synsfeltet kun bliver særdeles ringe. Man foretrækker derfor at bruge en Sammensætning af to Linser,

af hvilke den ene danner et indbildt Billede, der betragtes gennem den anden. Saadanne to Linser virke som en enkelt, hvis Brændvidde er mindre end enhver af Linsernes (62, 94). Et saadant Mikroskop kaldes et Dupplexmikroskop; man kan hermed opnaa en Forstørring paa flere hundrede Gange.

112. For bekvemt at kunne arbejde med de enkelte Mikroskoper er Linsen eller Linsesammensætningen fastgjort i en Indfatning t (Fig. 89), der er anbragt paa en Tandstang, som

Fig. 89.



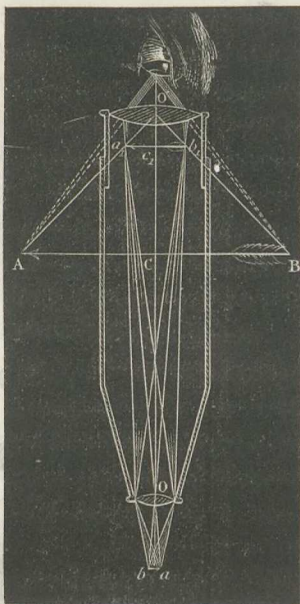
kan hæves og sænkes ved Hjælp af en Skrue. Linsen kan derved bringes i en passende Afstand fra Gjenstanden, der, naar den er gennemsigtig, i Almindelighed ligger imellem to Glasplader, som hvile paa et i Midten gjennemboret »Bord« c.

Er Forstørringen stor, har Linsen i Reglen en saa ringe Aabning, at de Straalekegler, der trænge ind i Øjet blive meget snævre, saa at dette kun modtager en meget ringe Lysmængde fra Billedet, hvorfor det ogsaa ses meget lyssvagt (smlg. 127). For at afhjælpe dette belyses Gjenstanden, hvis den er gennemsigtig, ved at tilbagekaste Sol- eller Dagslyset ved et fornedet paa Instrumentets Fod anbragt Hulspejl M. Er Gjenstanden uigjennemsigtig, maa man belyse den ved Hjælp af en Linse.

113. Det sammensatte Mikroskop. En langt større Forstørring end det enkelte Mikroskop kan give, opnaar man ved det sammensatte. Dette bestaar af to Samlelinser eller Sammensætninger af saadanne anbragte i Enden af hvert sit Rør, af hvilke det ene kan skydes ind i det andet. Den Linse, hvortil man holder Øjet, kaldes Okularet, den anden Linse, der er vendt mod Gjenstanden, Objektivet. Af denne dannes der et virkeligt og forstørret Billede inde i Røret, og dette Billede betragtes da gennem Okularet, der altsaa virker som et enkelt Mikroskop, hvis Gjenstand er det af Objektivet dannede Billede.

Fig. 90 viser Indretningen af et saadant Mikroskop. O er Objektivets og o Okularet. Da Objektivets skal danne et virkeligt Billede, maa dets Afstand fra Gjenstanden ab være noget større end Brændvidden; a, b , er det af Objektivets dannede omvendte Billede, og AB det indbildte Billede af dette, dannet af Okularet.

Fig. 90.



For at Øjet kan overse en saa stor Del af Billedet som mulig, maa det holdes paa det Sted, hvor de fra Okularet udtrædende Randstraaler skære hinanden, saaledes som Figuren viser det.

Forstørrelsen ved dette Mikroskop maales, som det let indses, ved Produktet af Objektivets og Okularets Forstørrelse. Er f. Ex. a, b , 10 Gange større end ab , og AB 5 Gange større end a, b , forstørrelser Mikroskopet 50 Gange.

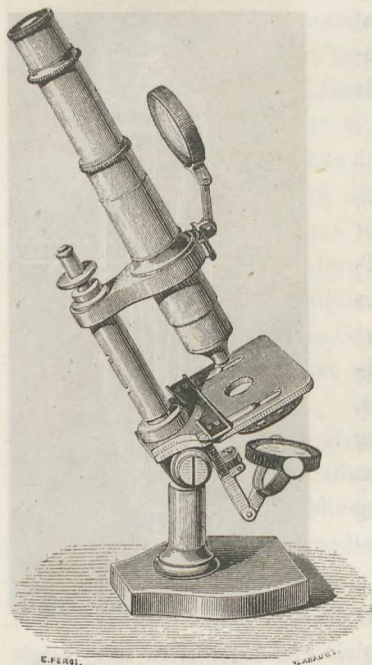
Fig. 91 viser det ydre Udseende af et sammensat Mikroskop.

Det Rør, hvori Okularet er anbragt, kan forskydes i Objektivrøret, saa at Okularet kan indstilles i den rette Afstand fra det af Objektivets dannede Billede. Objektivrøret kan ligeledes forskydes i en Indfatning, hvorved det kan bringes i den rette Afstand fra Gjenstanden, der i Almindelighed ligger mellem to Glasplader paa et »Bord« ligesom ved det enkelte Mikroskop. Et Hulspejl eller en Linse tjener ligeledes her til at belyse Gjenstanden.

114. Objektivets Brændvidde er altid meget lille. Derved opnaar man nemlig baade en stor Forstørrelse uden at gøre Røret altfor langt og et stort Synsfelt. Alle de Straaler, der fra Gjenstanden træffe Okularet, ere nemlig indesluttet i en Kegel, hvis Toppunkt ligger i Objektivets optiske Midtpunkt, og hvis

Grundflade dannes af Okularet, hvad en Betragtning af Fig. 90 viser. Jo større derfor Afstanden er mellem Okularet og Objektivet, desto spidsere bliver den omtalte Kegles Topvinkel, og

Fig. 91.



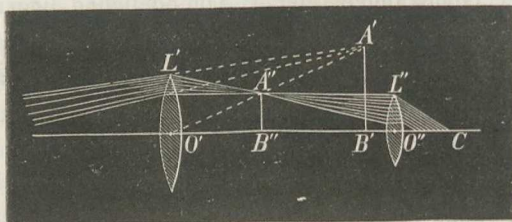
desto mindre bliver derfor ogsaa den Del af Gjenstanden ab, man faar at se.

Som oftest bruger man i Stedet for en enkelt akromatisk Linse en Sammensætning af flere.

115. Mikroskopet forstørrer desto mere, jo mindre Okularets Brændvidde er; men da en Linse med kort Brændvidde maa have en ringe Diameter, giver et stærkt forstørende Okular af den ovenfor nævnte Grund kun et ringe Synsfelt. Okularets Brændvidde er derfor altid større end Objektivets.

For at frembringe en saa stor Forstørring som mulig bruger man i Almindelighed et sammensat Okular, der er udtænkt af Huygens. Det bestaar af to Linser L' og L'' (Fig. 92).

Fig. 92.



Det forreste Glas L' , der vender mod Objektivet, og som kaldes Kollektivlinsen, opfanger Straalerne fra dette, førend Billedet

A'B' dannes. Kollektivlinsen samler derfor Straalerne saaledes, at der dannes et virkeligt Billede A''B'' imellem begge Linserne, og det er dette Billede, som betragtes gennem Okularlinsen L''. Ved denne Sammensætning blive Straalerne fra Billedet A''B'' nærmede til Axen. Man kan derfor bruge en Okularlinse af en ringe Diameter og altsaa kort Brændvidde og derved opnaa en stor Forstørring, uden at dette sker paa Synsfeltets Bekostning.

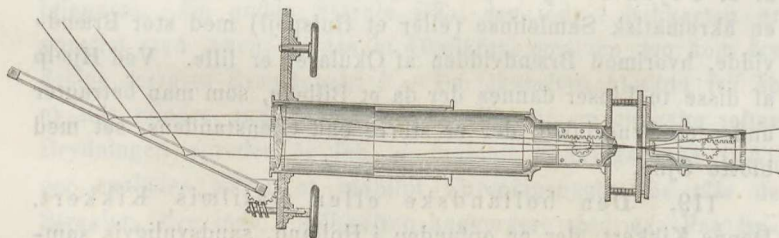
Huygens Okularsystem har desuden en anden Fordel, idet den nemlig hæver Virkningen af Farveadspredelsen. Er nemlig L' ikke akromatisk, frembringer den vel en hel Række forskellige farvede Billeder, af hvilke det røde ligger fjernest, det violette nærmest. Men betragtes disse Billeder gennem Okularlinsen, ville de dække hinanden og derfor ikke give noget Farveindtryk.

116. For at opnaa forskellige Forstøringer med samme Mikroskop, hører der til ethvert saadant i Almindelighed flere Okularer og Objektiver. Man har saaledes til et og samme Mikroskop konstrueret Objektiv- og Okularlinser, hvorved der kan opnaas en Forstørring af 50 til 1000 Gange.

Et Mikroskops Brugbarhed afhænger imidlertid ikke alene af Forstørringens Størrelse, men ogsaa af Billedernes Skarphed og fuldkomne Lighedannethed med Gjenstandens Form.

117. Solmikroskopet. Solmikroskopet bruges til paa

Fig. 93.



Skærme at frembringe store Billeder af smaa, gennemsigtige Gjenstande.

Det bestaar af et Rør (Fig. 93), der er anbragt i en

Aabning i et formørket Værelse. Ved Hjælp af et plant Spejl eller en Heliostat sendes Solstraalerne ind i Røret gennem en Linse, der samler dem paa den lille Gjenstand, som er anbragt mellem to Glasplader. Billedet af den saaledes stærkt belyste Gjenstand frembringes da paa en Skærm ved Hjælp af et Par Linser, som findes i Rørets anden Ende. For at kunne afpasse Billedets Størrelse og Afstand, ere disse Linser forskydelige.

I Mangel af Sollys kan man bruge stærkt kunstigt Lys, f. Ex. det elektriske eller Drummonds Kalklys.

Forstørrelsen kan ved et saadant Mikroskop maales ved Forholdet mellem Skærmens og Gjenstandens Afstand fra Linsen, der frembringer Billedet. Den kan gjøres meget stor, indtil 2000 Gange; men Billederne ere langt fra saa skarpe som dem, de almindelige Mikroskoper give.

II. Kikkerter.

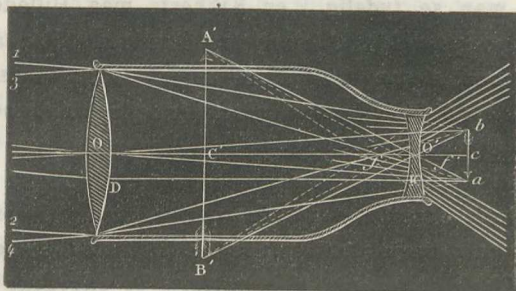
118. Medens Mikroskopet tjener til at iagttage Gjenstande, hvis sande Størrelse er saa lille, at de ikke kunne ses i den tydelige Synsviddes Afstand, bruger man Kikkerten til at iagttage saadanne Gjenstande, hvis tilsyneladende Størrelse paa Grund af deres store Afstand er saa lille, at Enkelthederne ikke kunne ses med blotte Øjne.

Enhver Kikkert bestaar ligesom det sammensatte Mikroskop af et Objektiv og et Okular, men Objektivet er her altid en akromatisk Samlelinse (eller et Hulspejl) med stor Brændvidde, hvorimod Brændvidden af Okularet er lille. Ved Hjælp af disse to Linser dannes der da et Billede, som man betragter under en Synsvinkel, der er større end Gjenstandens, set med blotte Øjne.

119. Den hollandske eller Galilæis Kikkert. Denne Kikkert, der er opfundet i Holland, sandsynligvis samtidig af flere i det første Aarti af det syttende Aarhundrede, bestaar af en akromatisk Samlelinse, Objektivet, og af en Spredelinse med kortere Brændvidde, Okularet, til hvilken

Øjet holdes. Begge disse Linser ere indfattede i de to Ender af et Rør for at holde fremmed Lys borte (Fig. 94). Okularets

Fig. 94.



Afstand fra Objektivet er omtrent lige stor med, men ikke større end Forskjellen mellem de to Linsers Brændvidder.

Rettes Kikkertens Axe, hvorved man forstaar Objektivets og Okularets fælles Axe, mod en fjern Gjenstand, blive Straalerne fra denne brudte af Objektivet; men førend Billedet addannes, brydes de af Okularet, hvorved de Straaler, der inde i Kikkerten konvergere mod samme Punkt, blive spredte, saa at der bliver dannet et indbildt Billede A'B' af Gjenstanden.

Konstruktionen af dette Billede sker efter de tidligere angivne Regler. Blandt de Straaler, der inde i Kikkerten ere rettede mod a, kunne vi nemlig tænke os en, der gaar igjennem Okularets optiske Midtpunkt; denne Straale vil da gaa ubrudt igjennem. En anden Straale DK, der inde i Kikkerten er parallel med Axen, brydes af Okularet, som om den kom fra dets forreste Brændpunkt f'. Da Okularets Afstand fra ab er lidt mindre end Brændvidden, ville de to Straaler efter Brydningen spredes og faa et indbildt Skæringspunkt i A', der saaledes bliver et indbildt Foreningspunkt for alle de Straaler, der inde i Kikkerten konvergere mod a. Paa lignende Maade dannes der i B' et indbildt Skæringspunkt for alle de Straaler, der af Objektivet bringes til at løbe sammen mod b.

Holder man Øjet op til Okularet, vil man altsaa i A'B' se et Billede af Gjenstanden. Da A'B' er et omvendt Billede af ab, og dette atter et omvendt Billede af Gjenstanden, ser man altsaa opret i en Kikkert af denne Art.

Skal man se tydelig i en Kikkert, maa Billedet ligge i den tydelige Synsviddes Afstand fra Okularet. For langsynede Personer maa altsaa A'B' ligge meget langt borte, saa at Straalerne i de fra Okularet udtrædende Straalebundter blive parallelle; Okularets Afstand fra ab bliver da lige stor med dets Brændvidde. For nærsynede maa A'B' ligge nærmere ved Okularet; Straalerne spredes derfor stærkt, hvorfor Okularets Afstand fra ab maa være en Del større end Brændvidden. Okularet er derfor indfattet i et særegent Rør, der kan forskydes i Objektivrøret, saa at det kan indstilles for de forskellige Øjne.

120. Forstørringen maales ved Forholdet mellem de Synsvinkler, under hvilke Billedet og Gjenstanden eller samme Dele af disse ses. A'C's Synsvinkel er A'O'C, der er lige stor med aO'c; da cO og aO ere Synslinierne til de til A' og C' svarende Punkter af Gjenstanden, er den tilsvarende Del af dennes Synsvinkel aOc. Da Synsvinklerne altid ere meget smaa, have vi

$$\frac{aO'c}{aOc} = \frac{tg. aO'c}{tg. aOc} = \frac{ac}{O'c} : \frac{ac}{Oc} = \frac{Oc}{O'c}.$$

I Almindelighed er Gjenstanden saa langt borte, at Oc er lige stor med Objektivets Brændvidde P; naar Øjet er akkommoderet for uendelig Afstand, er O'c lige stor med Okularets Brændvidde p. Herved bliver altsaa Forstørringen $F = \frac{P}{p}$ eller Forholdet mellem Objektivets og Okularets Brændvidder.

Er Kikkerten indstillet for en nærsynet, bliver O'c noget større end p, hvorved Forstørringen bliver noget mindre end den ovenfor angivne Værdi. Det samme finder Sted, naar man betragter en nærmere liggende Gjenstand.

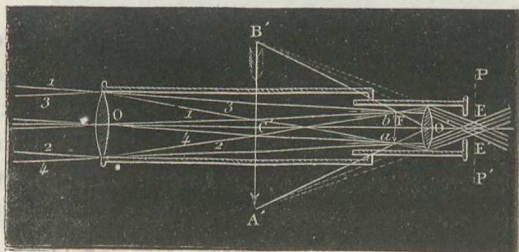
121. Ved denne Kikkert maa man holde Øjet saa nær op til Okularet som mulig, eftersom Straalebundterne spredtes af denne Linse. Holdes det noget fra Okularet, opfanger det ikke Randstraalerne, og man ser derfor kun en mindre Del af Billedet. Paa Grund af denne Straalernes Spredning, er Synsfeltet meget ringe. Tænke vi os Øjet holdt til Okularet, vil det ikke fra Gjenstanden kunne modtage andre Straaler end dem, der ligge indenfor den Kegleflade, hvis Toppunkt er Objektivets optiske Midtpunkt, og hvis Grundflade dannes af Øjeaabningen. Topvinklen i denne Kegle bestemmer altsaa Kikkertens Synsfelt.

Denne Kikkert kan derfor ikke give nogen stor Forstørring, eftersom en saadan fordrer et Objektiv med stor Brændvidde, hvorved Synsfeltet som en Følge af den store Afstand mellem Objektiv og Okular bliver altfor ringe. Den bruges derfor i Almindelighed kun som Felt- eller Theaterkikkert.

Kort efter denne Kikkerts Opfindelse konstruerede Galilæi en saadan, hvormed han gjorde en Mængde Opdagelser paa Himlen (Maanens Bjerge, Jupiters Drabanter, Venus Faser, Solpletterne o. a. m.).

122. Den astronomiske eller Keplers Kikkert. Denne Kikkert, hvis Indretning er udtænkt af Kepler, adskiller sig fra den hollandske ved, at Okularet er en Samlelinse, der virker som en Lupe, gennem hvilken man betragter det virkelige Billede, der dannes af Objektivet. Afstanden mellem Objektivet

Fig. 95.



og Okularet er her omtrent lige stor med, men ikke mindre end Summen af disse Linsers Brændvidder. Fig. 95 viser en

saadan Kikkert. O er Objektivet, O' Okularet, ab det omvendte Billede af Gjenstanden og A'B' det af Okularet dannede indbildte Billede af ab. Man ser altsaa omvendt i denne Kikkert.

123. Da Billedets Synsvinkel er bO'a og Gjenstandens bOa, findes Forstørrelsen paa samme Maade som i 120 at være udtrykt ved Forholdet mellem Objektivets og Okularets Afstande fra ab; antages OF at være lige stor med Objektivets og O'F lige stor med Okularets Brændvidde, bliver, naar disse Størrelser betegnes henholdsvis med P og p, Forstørrelsen $F = \frac{P}{p}$ eller som ved Galilæis Kikkert lige stor med Forholdet mellem Objektivets og Okularets Brændvidder.

For et Øje, der ikke kan akkommoderes for uendelig Afstand, bliver Forstørrelsen, (som tidligere (120) udviklet) noget mindre.

For at kunne bringe Okularet i den rette Afstand fra ab, er det indfattet i et forskydeligt Rør.

124. Keplers Kikkert har det Fortrin fremfor Galilæis, at Øjet i Almindelighed kan modtage alle de Straaler, der have gennemløbet Kikkerten. Betragt vi nemlig Objektivet som en Gjenstand for Okularet, maa der et Sted udenfor denne sidste Linse dannes et Billede af den første, og holdes Øjet i denne Objektivets Billedflade EE', Okullarringen, hvor altsaa alle de fra Okularet kommende Straalebundter skære hinanden, vil det modtage alle de Straaler, der ere gaaede igjennem Objektivet.

Som det ses af Straalernes Gang i Kikkerten, er Synsfeltet bestemt ved Topvinklen i den Kegel, der har Objektivets optiske Midtpunkt til Toppunkt og Okularet til Grundflade. Forøger man derfor Forstørrelsen ved at anvende et Okular med kortere Brændvidde, formindskes Synsfeltet, eftersom Okularets Diameter aftager med dets Brændvidde.

Okullarringens Afstand fra Okularet saa vel som dens Diameter lader sig let bestemme ved Objektivets og Okularets

Brændvidder samt Objektivets Diameter. (Kalde vi nemlig den søgte Afstand x , de to Brændvidder som før P og p , have vi

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

hvoraf $x = \frac{p(P+p)}{P}$.

Betegn vi endvidere Objektivets Diameter med D og Okularringens med δ , faa vi

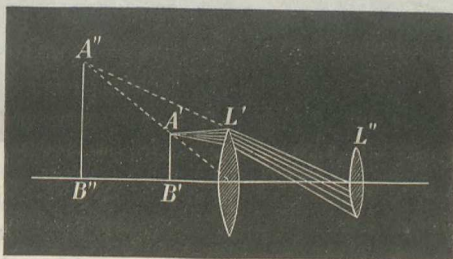
$$\frac{D}{\delta} = \frac{P+p}{x} = \frac{P}{p},$$

hvoraf $\delta = \frac{p}{P} D$.

Som man ser, kan Forstørrelsen ogsaa angives ved Forholdet mellem Objektivets og Okularringens Diametre. Herved kan man experimentalt bestemme en Kikkerts Forstørrelse, idet man kan maale Okularringens Tværmaal ved at opfange Objektivets Billede paa en lille, fint inddelt Glasmaalestok.

125. For at kunne opnaa en større Forstørrelse end med et enkelt Okular bruger man i Almindelighed som ved det sammensatte Mikroskop det tidligere beskrevne af Huygens (115) eller et af Englænderen Ramsden konstrueret saakaldet positivt Okular, der ligesom Huygens bestaar af en Kollektivlinse L' (Fig. 96) og en Okularlinse L'' . Det af Objektivet

Fig. 96.



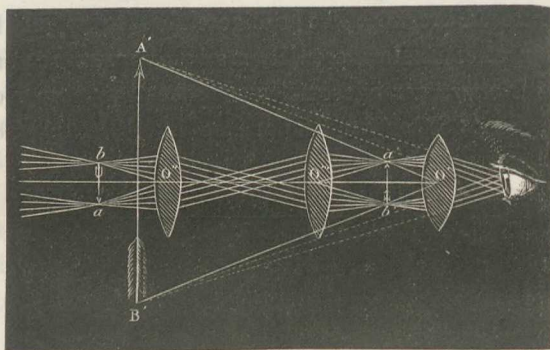
dannede Billede $A'B'$ falder her foran Kollektivlinsen saaledes, at der af $A'B'$ dannes et indbildt Billede $A''B''$, der betragtes gennem Okularlinsen. Ramsdens Okular giver ikke saa stort

et Synsfelt som Huygens, eftersom Kollektivlinsen, der danner Grundfladen i den tidligere (124) omtalte Kegel, hvis Topvinkel bestemmer det, ligger længere borte fra Objektivet; men det frembyder den Fordel, at man i Objektivets Brændpunkt kan anbringe et Traadkors eller et Mikrometer, hvorom mere nedenfor.

Til enhver astronomisk Kikkert hører der i Almindelighed flere Okularer, saa at man kan anvende forskellige Forstørrelser.

126. Den terrestriske Kikkert. Da man i den astronomiske Kikkert ser Gjenstandene omvendte, hvad der ikke forårsager nogen Ulempe, naar man betragter Gjenstande paa Himlen, er den ikke hensigtsmæssig, naar den skal anvendes som Land- eller Søikkert. Den terrestriske Kikkert, som man i dette Øjemed bruger, og hvis Konstruktion ligeledes er angivet af Kepler, adskiller sig kun fra den astronomiske ved, at der imellem det af Objektivet dannede Billede ab og Okularet (Fig. 97) er indskudt to Samlelinser O'' og O''' , der frembringe

Fig. 97.



et omvendt og virkeligt Billede $a'b'$ af det af Objektivet dannede; $a'b'$ betragtes da gennem et enkelt eller sammensat Okular O' , saa at man ser opret i denne Kikkert. Afstanden fra ab til O'' er saa stor som denne Lenses Brændvidde; ved Brydning gennem O'' blive altsaa Straalerne i de forskellige fra ab kommende Straalebundter parallelle, hvorefter de ved at brydes

af O''' atter samles til Billedet $a'b'$, hvis Afstand fra denne sidste Linse er lig med dens Brændvidde.

Ved den terrestriske Kikkert kan man aldrig anvende nogen særdeles stor Forstørring (i det højeste 100 Gange), dels paa Grund af Uklarhed i Luften og dels fordi en stærk Forstørring gjør Billedet for lyssvagt, som vi nedenfor skulle se.

127. Den tilsyneladende Klarhed af Billedet i en Kikkert. Ved en Gjenstands tilsyneladende Klarhed forstaa vi, som ovenfor (97) bemærket, Klarheden af det i Øjet dannede Billede. Denne findes ved at dividere den Lysmængde, der trænger ind i Øjet med Nethindebilledets Flade-maal. Antage vi, som det altid er Tilfældet i en Kikkert med stor Forstørring, at Okularringen er mindre end Øjeaabningen, vil Øjet, naar det ser i en Kikkert, modtage alle de Straaler, der fra Gjenstanden sendes til Objektivet. Kalde vi som ovenfor Objektivets Diameter D og Øjeaabningens o , bliver altsaa den Lysmængde, Øjet modtager gennem en Kikkert, $\frac{D^2}{o^2}$ Gange større end ved det direkte Syn; paa den anden Side

er ogsaa Arealet af Nethindebilledet $\frac{P^2}{p^2}$ Gange større i første Tilfælde end i sidste, naar P og p betegner henholdsvis Objektivets og Okularets Brændvidder. Tage vi altsaa den tilsyneladende Klarhed af en Gjenstand set med blotte Øje til Enhed, bliver den tilsyneladende Klarhed af Billedet i en Kikkert udtrykt ved

$$\frac{D^2}{o^2} : \frac{P^2}{p^2} = \frac{\delta^2}{o^2},$$

hvor δ betegner Okularringens Diameter.

Er Okularringen altsaa mindre end Øjeaabningen, ses en Gjenstand med mindre Klarhed i en Kikkert end med det blotte Øje. Jo stærkere Forstørring, man bruger, desto mindre bliver Klarheden. Paa den anden Side kan en Kikkert med stort Objektiv taale en større Forstørring end en Kikkert, hvis Objektiv har en lille Diameter.

Det her udviklede gjælder ogsaa for Mikroskopernes Vedkommende, og da Objektivet her altid er meget lille, formindskes Klarheden saa meget, at Gjenstanden, som anført (112), maa kunstig belyses.

Paa en hel anden Maade forholder det sig imidlertid, naar Gjenstanden er en Fixstjerne. Disse ses nemlig endogsaa i de stærkest forstørrende Kikkerter aldrig som Skiver, men kun som lysende Punkter. Den Formindskelse i Klarheden, der hidrører fra Forstørringen, faar altsaa her ikke nogen Indflydelse, og Fixstjernernes tilsyneladende Klarhed forøges altsaa i samme Forhold som Kvadratet af Objektivets Diameter er større end Kvadratet af Øjeaabningen.

Er Forstørringen saa ringe, at Okularringen er lige stor med Øjeaabningen, ses Billedet i en Kikkert med samme Klarhed som Gjenstanden. Det samme er ogsaa Tilfældet, naar Øjeaabningen er mindre end Okularringen, eftersom Øjet i saa Fald kun modtager den ved $\frac{o^2}{\delta^2}$ bestemte Del af den Lysmængde, der gaar gennem Okularringen.)

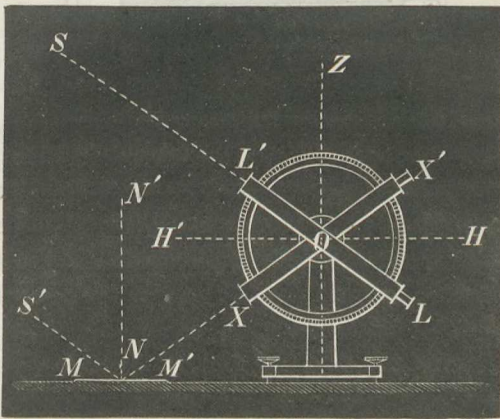
128. Kikkerten som Maaleinstrument. Kikkerten anvendes hyppig til at angive Retninger eller maale Vinkler med. I saa Fald maa man kunne stille den efter et bestemt Sigtepunkt. Dette opnaas ved i Objektivets Brændpunkt at anbringe et lille Kors (Traadkors) af to meget fine Traade som af Edderkoppespind, hvis Skæringspunkt falder i Kikkertens Axe. Gjennem Okularet ser man da Traadkorset og Billedet paa samme Sted. Skal man rette Kikkerten efter et bestemt Punkt, stiller man den saaledes, at dette i Kikkerten dækkes af Traadenes Skæringspunkt. Vil man bruge et sammensat Okular, maa det være Ramsdens.

Skal man maale Vinkler med en Kikkert, maa den være opstillet saaledes, at den kan drejes om en eller to Axer, der bære inddelte Cirkelringe, hvorved Drejningen kan maales, saaledes som det er Tilfældet med Kikkerter til geodætisk og astronomisk Brug (Theodoliten, Meridiankikkerten, Ækvatoreal-instrumentet).

Ved de Maalinger, man anstiller med saadanne Kikkerter, maa man ofte bestemme et Punkts Højde over Horizonten, og det er derfor nødvendigt med Nøjagtighed at kjende enten Kikkertens vandrette eller dens lodrette Stilling.

Disse kunne findes paa forskjellige Maader. Kikkerten, der maa kunne drejes om en vandret Axe O (Fig. 98), ind-

Fig. 98.

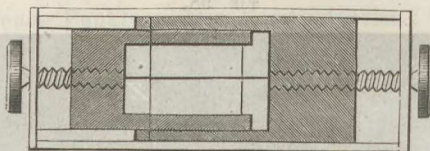


stilles først efter en Stjerne saaledes, at dennes Billede dækkes af Traadkorsets Midte. Dernæst drejes den om O, til man ser Stjernens Billede i en kunstig Horizont MM' (15) paa samme Sted i Kikkerten. Linien HH', der halverer Vinklen mellem disse to Stillinger LL' og XX', og hvis Beliggenhed aflæses paa den lodrette inddelte Cirkelring, vil da angive den vandrette Retning.

En anden Fremgangsmaade bestaar i at stille en lille Skaal med Kvægsølv under Omdrejningsaxen og dernæst dreje Kikkerten, til man gjennem Okularet ser et Billede af Traadkorset i Kvægsølvets Overflade. Indstiller man nu Kikkerten saaledes, at dette Spejlbillede nøjagtig ses at dække selve Traadkorset, staar Kikkertens Axe ifølge Lovene for Tilbagekastningen og Brydningen i Linser nøjagtig lodret. Denne Stilling aflæses da paa Cirkelringen.

Til at maale smaa Synsvinkler anvendes Mikrometre. Man har givet saadanne Instrumenter forskjellige Indretninger; vi ville her indskrænke os til at beskrive et Traadmikrometer af den simpleste Form. Det bestaar af to fine, parallelle Traade, fastgjorte hver til sin Ramme (Fig. 99), der er anbragt i Objek-

Fig. 99.



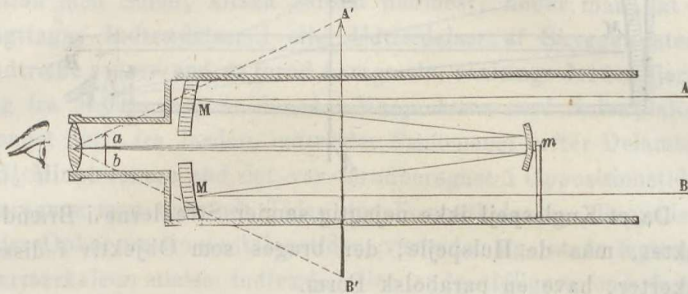
tivets Brændpunkt. Ved Hjælp af en meget fin Skrue kan man bevæge den ene af Rammerne, saa at Traadene kunne nærmes til og fjernes fra hinanden. Skal man nu med Mikrometret maale en Synsvinkel, der kan overses i Kikkertens Felt, f. Ex. en Planet-skives angulære Diameter, rettes Kikkerten først saaledes, at den faste Traad tangerer Randen af Planetens Billede. Ved at dreje Skruen flyttes dernæst den anden Traad til den ligeledes kommer til at berøre Billedet paa den modsatte Rand. Af det Antal Omdrejninger, den ene af Skrueerne maa gjøre, for dernæst at bringe Traadene til at dække hinanden, kan man da bestemme den søgte Synsvinkel, idet man forud har bestemt, hvormange Omdrejninger der svare til en vis Synsvinkel.

129. Spejlkikkerter (Teleskoper). Da man først i noget over Midten af det forrige Aarhundrede lærte at forfærdige akromatiske Linser, vare Linsekikkerterne (dioptriske Kikkerter, Refraktor) lige indtil den Tid meget ufuldkomne. Man indrettede derfor allerede meget tidlig (1663) Spejlkikkerter, i hvilke Objektivet er et Hulspejl, saa at der dannes et Billede ved Tilbagekastning, hvilket Billede da betragtes gennem et almindeligt Okular.

Den ældste af disse Kikkerter er konstrueret af Gregory. Spejlobjektivet MM (Fig. 100), der sidder i Bunden af et Rør, er gjennemboret i Midten. Billedet af Gjenstanden dannes

foran et andet, mindre Hulspejl m i en Afstand fra dette, der er noget større end dets Brændvidde. Ved Tilbagekastning fra m dannes der et nyt Billede ab , som betragtes gennem et

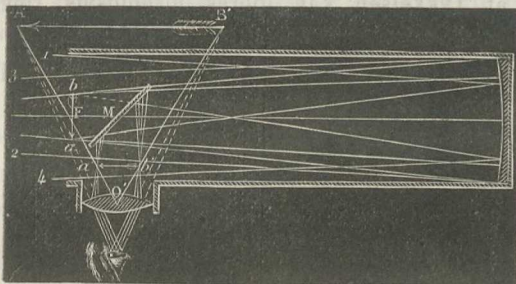
Fig. 100.



Okular, der er anbragt bagved den gennemborede Del af Objektivet. Man ser altsaa opret i denne Kikkert.

Ved Newtons Spejlkikkert (Fig. 101) tilbagekastes Straallerne fra Objektivet, førend Billedet dannes, af et plant Spejl

Fig. 101.

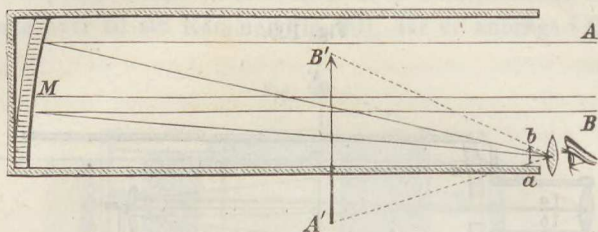


M , der danner en Vinkel paa 45° med Rørets Axe. Der fremkommer derved et Billede foran et lille Siderør, hvori Okularet O er anbragt.

I Herschels store Spejlkikkert er Hulspejlets Axe stillet saaledes, at Billedet bliver dannet ved Randen af Røret. Det

betragtes da direkte uden nogen Tilbagekastning gennem et Okular (Fig. 102).

Fig. 102.



Da et Kuglespejl ikke nøjagtig samler Straalerne i Brændpunktet, maa de Hulspejle, der bruges som Objektiv i disse Kikkerter, have en parabolisk Form.

I de ældre Spejlkikkerter var Hulspejlet slebet i en Metalplade, der maatte have en temmelig betydelig Tykkelse for at ikke tilfældige Stød kunde forandre Formen. Herved fik Spejlet ved Kikkerter af store Dimensioner en temmelig betydelig Vægt. Tilmed var der den Mangel ved disse Spejle, at de let kunde anløbes, saa at en ny Politur blev nødvendig. I den senere Tid forfærdiger man derfor Spejlene af Glas, hvis Haardhed er saa stor, at Tykkelsen kan gøres forholdsvis ringe. Som spejlende Flade bruger man da en tynd Sølvhinde, der udfældes paa Glasset ved kemiske Processer (Foucaults Spejlkikkerter).

Syvende Kapitel.

Lysets Hastighed.

130. Rømers Opdagelse. At Lyset bruger Tid til at forplante sig blev opdaget af Rømer (1675) ved Observationerne af den inderste Jupiterdrabants Formørkelser. De tre af disse Maaner træde en Gang i hvert af deres Omløb

ind i Jupiters Kjærneskygge, og enten Indtrædelsen i eller Udtrædelsen af Skyggen kan iagttages fra Jorden, hvorved altsaa deres Omløbstider lader sig bestemme. Beregner man nu forud Tidsmomenterne for de paa hinanden følgende Formørkelsers Begyndelse eller Ophør fra den Tid, da Jupiter er i Opposition med Solen, altsaa Jorden nærmest, finder man, at de iagttagne Indtrædelser i eller Udtrædelser af Skyggen stedse indtræffe senere end de forud beregnede, saalænge Jorden fjerner sig fra Jupiter, og er denne i Konjunktion med Solen, altsaa længst borte fra Jorden, indtræder Fænomenet (efter Delambre) $16\frac{1}{2}$ Minut senere end det var forudberegnet i Oppositionstiden. Beregner man omvendt Tiden for Formørkelsernes Begyndelse eller Ophør fra Konjunktionstiden, viser det sig, at de iagttagne Formørkelser stedse indtræde eller ende tidligere end forudberegnet, og er Jorden atter kommen Jupiter nærmest, indtræffer Fænomenet $16\frac{1}{2}$ Minut tidligere, end det var beregnet i Konjunktionstiden.

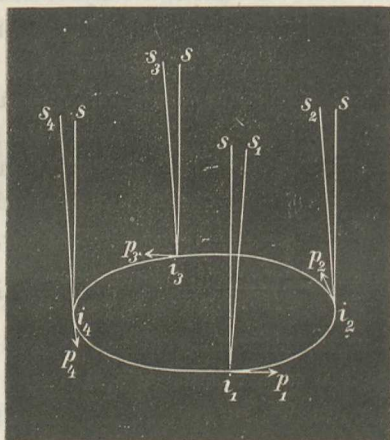
Da Maanernes virkelige Omløbstider ikke kunne afhænge af Jordens Bevægelse fra eller imod Jupiter, sluttede Römer, at Aarsagen til Forandringen i de observerede Omløbstider maatte ligge i den Omstændighed, at Lyset bruger Tid til at forplante sig, saa at vi, naar Jorden er længst borte fra Jupiter, iagttage en Drabants Indtrædelse i Skyggen saa meget senere, end vi vilde have iagttaget den, hvis Jorden var Jupiter nærmest, som den Tid Lyset bruger til at forplante sig gennem Jordbanens Diameter. Da nu Iagttagelserne vise, at denne Tidsforskjel er $16\frac{1}{2}$ Minut eller nøjagtigere 986 Sekunder, og Jordens Middelfastand fra Solen er 20008000 geogr. Mile, bliver Lysets Hastighed udtrykt ved $\frac{2.20008000}{986}$ eller 40600 Mile i Sekundet.

Ved de fire Jupitermaaners Bevægelser ere Perturbationerne, der skyldes saavel deres indbyrdes Tiltrækning som Jupiters, imidlertid saa store, at de herved foraarsagede Uligheder i Omløbstiderne endogsaa ere større end den tilsyneladende, der hidrører fra Lysets Hastighed. Bestemmelsen af denne Størrelse ad den her angivne Vej er derfor en meget indviklet Opgave

at løse, og det er kun ved den inderste Drabants Bevægelser, der førte Rømer til hans Opdagelse, at Lysets Hastighed lader sig beregne med nogenlunde Sikkerhed. Den af Rømer angivne Værdi for Lysets Hastighed afviger derfor ogsaa meget fra den sande.

131. Bestemmelsen af Lysets Hastighed ved Aberrationen. Rømers Opdagelse blev senere paa en hel anden Maade stadfæstet ved Forklaringen af Aberrationen. Dette Fænomen, der blev opdaget af Bradley (1728), bestaar i, at enhver Fixstjerne i Løbet af et Aar synes at beskrive en lille Ellipse om sit virkelige Sted paa Himmelkuglen. I alle disse Ellipser er den store Axe parallel med Ekliptika og af samme Størrelse, nemlig $40,89''$, hvorimod den lille Axe afhænger af Afstanden fra Ekliptika, idet den er lige stor med den store multipliceret med sinus af Bredden. Ligger Stjernen i Ekliptika, bliver dens Bane altsaa en ret Linie, i Ekliptikas Pol en Cirkel. Tilmed viser det sig, at Stjernen altid ses forskudt fra sin virkelige Plads i den Retning, hvori Jorden bevæger sig. Forestiller saaledes (Fig. 103) $i_1 i_2 i_3 i_4$ Jordens

Fig. 103.



Bane og $i_1 S, i_2 S, i_3 S, i_4 S$ de virkelige Retninger fra Jorden mod en Stjerne, hvilke vi paa Grund af Fixstjernernes store

Afstande maa betragte som parallelle, ses Stjernen, naar Jorden er i i_1 , i Retningen $i_1 s_1$, der ligger i det ved Stjernens sande Retningslinie og Jordens øjeblikkelige Bevægelsesretning $i_1 p_1$ bestemte Plan. Lignende Forskydninger af Stjernen finder Sted, naar Jorden er i andre Punkter i_2 , i_3 og i_4 af Banen.

Ligger Stjernen i Ekliptika, er Forskydningen størst, naar Jorden bevæger sig vinkelret paa Retningen til Stjernen, hvorimod denne ses paa dens virkelige Sted, naar Jorden bevæger sig lige imod eller fra den.

Bradley forklarede Aberrationen, der, som Astronomien lærer os, ikke kan være nogen parallaktisk Bevægelse, ved den Omstændighed, at vi modtage Lyset fra Stjernerne paa et Standpunkt, der er i Bevægelse, hvorved Straalerne lide en tilsyneladende Forandring i Retning.

Lad nemlig SO (Fig. 104) være en Lysstraale fra en Stjerne, imod hvilken en Kikkert er rettet, saa vil der, naar Kikkerten ikke bevæges, dannes et Billede af Stjernen i Objektivets Brændpunkt o. Men tænke vi os, at Kikkerten bliver sat i Bevægelse, uden at Axens Retning forandres, med en saa stor Hastighed, at Punktet o' forflyttes til o i samme Tid, som Lyset bevæger sig fra O til o, vil Billedet ikke mere dannes i Brændpunktet, men i o', og i Forhold til Kikkerten vil Lysets Retning altsaa være fra O til o'. Ville vi altsaa se Stjernens Billede i Brændpunktet, maa Kikkerten drejes Vinklen SOS' saaledes, at Axen falder i Oo'.

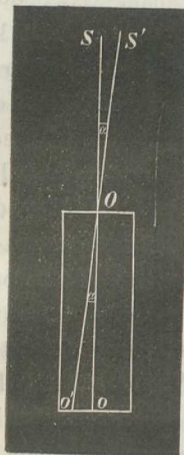


Fig. 104

Foregaar derimod Kikkertens Bevægelse i Linien OS, vil dette ikke faa nogen Indflydelse paa Lysets Retning i Kikkerten; Stjernen vil i dette Tilfælde ses paa dens sande Sted.

Ganske paa samme Maade forholder det sig med Lysets Bevægelse i Øjet.

Er nu o'o den Vej, Jorden bevæger sig om Solen, medens Lyset tilbagelægger Strækningen Oo, se vi altsaa Stjernen

forskuet efter Retningen OS', altsaa forflyttet i den Retning, hvori Jorden bevæger sig.

Med Hensyn til den nøjere Bestemmelse af Aberrations-ellipsen maa vi henvise til Astronomien; her have vi kun at vise, hvorledes Lysets Hastighed kan bestemmes ved denne Stjernens tilsyneladende Forskydning fra dens virkelige Sted.

Antage vi, at Jorden bevæger sig vinkelret paa den sande Retning mod Stjernen, og kalde vi i dette Tilfælde Aberrationsvinklen SOS' α , Jordens Hastighed h og Lysets H, have vi

$$H = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Jordens Middelhastighed faas ved at dividere Banens Omkreds, der er $2\pi \cdot 20008000$ Mile, med Jordens sande Omløbstid om Solen (det sideriske Aar), hvis Længde er $365,26 \cdot 86400$ Sekunder. Ved Observationer har man fundet $\alpha = 20,45''$. Indsættes disse Værdier i ovenstaaende Ligning, faas

$$H = \frac{2\pi \cdot 20008000}{365,26 \cdot 86400 \cdot \operatorname{tg} 20,45''} = 40200 \text{ Mile},$$

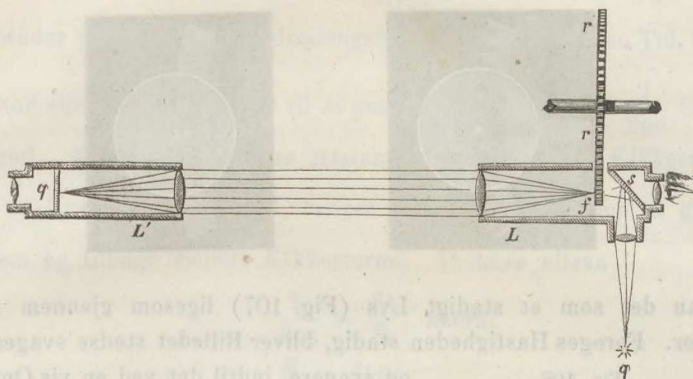
hvilken Værdi kun afviger lidet fra den, der er udledet af Jupiterdrabanternes Formærkelser.

132. Fizeaus Forsøg. Den Nøjagtighed, hvormed Lysets Hastighed kan beregnes, afhænger saavel ved Rømers som ved Bradleys Methode af den Nøjagtighed, hvormed Jordens Afstand fra Solen er bestemt. Det er derfor af Vigtighed ogsaa at kunne finde Hastigheden paa anden Maade end ved astronomiske Iagttagelser. Dette er i den nyeste Tid lykkedes Fizeau (1849) og Foucault (1850), der hver paa sin Vis bestemte Lysets Hastighed ad ren experimental Vej. Vi skulle her blot beskrive Fizeaus Fremgangsmaade.

Fra en stærk Lyskilde (Drummonds Kalklys) blev Straalerne sendte gennem en Samlelinse (Fig. 105), som var anbragt i et lille Siderør paa en Kikkert L. Før end de af Linsen brødte Straaler bleve forenede, kastedes de delvis tilbage af et plant Glas s, der dannede en Vinkel paa 45° med Kikkertens Axe, saa at Billedet blev dannet i Objektivets Brændpunkt f. De Straaler, der fra f sendtes til Objektivet, bleve da af dette

brudte parallelle med Axen og sendte hen til en anden Kikkert L' , der var opstillet saaledes, at dens Axe faldt sammen med

Fig. 105.



den første Kikkerts. Straalecylinderen fra L traf da L' og blev her brudt af Objektivet, saa at Straalerne bleve forenede i dettes Brændpunkt. Her var der opstillet et plant Spejl vinkelret paa Axen, og af dette bleve Straalerne kastede tilbage mod Objektivet, af hvilke de atter bleve brudte og sendte tilbage til L , saa at der i f blev dannet et nyt Billede, hvis Straaler delvis gik gennem den plane Glasplade s , saa at dette Billede kunde betragtes gennem Okularet.

Paa Siden af L lige ud for Billedet f var der endvidere en Indskæring, gennem hvilken en Del af et Tandhjul r var ført ind i Kikkerten. Randen af dette Tandhjul gik gennem f saaledes, at den omtalte Billeddannelse kun kunde finde Sted i Aabningen mellem to Tænder, hvorimod Straalernes Gang mellem de to Kikkerter blev forhindret, naar en Tand befandt sig i Brændpunktet.

Staar nu Tandhjulet stille, saa at Lysets Gang til L' ikke hindres, ser man gennem L Billedet af Lyset saaledes, som Fig. 106 viser det. Sættes Hjulet i langsom Omdrejning, forhindres Billeddannelsen, hver Gang en Tand passerer Brændpunktet, og man ser da Billedet afvexlende komme tilsyne og

forsvinde. Foregaar Omdrejningen noget hurtigere, saa at Øjet ikke taber Lysindtrykket under Billedets Forsvinden, ser

Fig. 106.

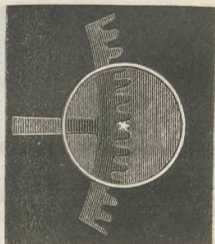
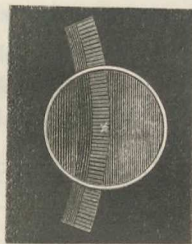
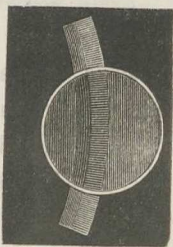


Fig. 107.



man det som et stadigt Lys (Fig. 107) ligesom gennem et Slør. Forøges Hastigheden stadig, bliver Billedet stedse svagere og svagere, indtil det ved en vis Omdrejningshastighed aldeles forsvinder (Fig. 108).

Fig. 108.



Dette Tilfælde indtræder nemlig, naar Omdrejningshastigheden er saa stor, at Lyset netop bruger lige saa lang Tid om at bevæge sig frem og tilbage mellem begge Kikkerterne, som en Aabning er om at passere Brændpunktet. I saa Fald vil nemlig det Lys, der sendes tilbage fra L' først ankomme til f i det Øjeblik, da Aabningen har passeret dette Punkt, og Billedet opfanges derfor af en Tand, saa at det ikke kan iagttages. Da Tænderne og Aabningerne ere lige store, kan Billedet kun vedvare saa længe, det bliver dækket af Tandene, saa at det forsvinder i det Øjeblik, da den næste Aabning begynder at gaa forbi Brændpunktet.

Blev Omdrejningshastigheden yderligere forøget, kom Billedet atter tilsyne, og ved den dobbelte Hastighed af den, der bragte det til at forsvinde, saas det med samme Klarhed som tidligere, eftersom Lyset da gik frem og tilbage mellem Kikkerterne i samme Tid, som en Aabning og en Tand gik gennem f . Ved den tredobbelte Hastighed forsvandt Lyset for anden Gang o. s. v.

Af Hjulets Omdrejningshastighed, Tændernes Antal og Afstanden mellem Kikkerterne lader Lysets Hastighed sig bestemme. Drejes nemlig Hjulet n Gange rundt i et Sekund, naar Billedet forsvinder første Gang, og er Antallet af Hjulets Tænder p , er Hjulets Omdrejningstid $\frac{1}{n}$ Sekund, og den Tid, en

Tand eller Aabning bruger til at gaa forbi Brændpunktet $\frac{1}{2pn}$ Sekund. Kalde vi endvidere Afstanden mellem de to Kikkerter a og Lysets Hastighed H , bruger Lyset $\frac{2a}{H}$ Sekund om at gaa frem og tilbage mellem Kikkerterne. Vi have altsaa

$$\frac{1}{2pn} = \frac{2a}{H}, \text{ hvoraf} \\ H = 4pna.$$

Den Værdi, Fizeau paa denne Maade fandt for Lysets Hastighed, var noget større end den, der kan udledes ad astronomisk Vej. Ved en mere fuldkommen Iagttagelsesmethode har imidlertid senere Cornu ved Fizeaus Apparat fundet Hastigheden at være 40500 geogr. Mile.

133. Paa en hel anden Maade fandt Foucault, ligeledes ved fysiske Forsøg, Lysets Hastighed at være 40200 geogr. Mile. Det lykkedes endvidere Foucault experimentalt at godtgjøre, at Lysets Hastighed i Vand er $\frac{3}{4}$ af Hastigheden i Luften, hvilket Forhold netop er den omvendte Værdi af Vandets Brydningsforhold. Dette Resultat er, som vi senere skulle se det, af stor theoretisk Betydning.

Alle de højst forskellige Fremgangsmaader, ved hvilke Lysets Hastighed er funden, have saaledes ført til saa godt som overensstemmende Resultater. Størst Tiltro maa vi ifølge hele Iagttagelsesmetoden skænke det Resultat, hvortil Cornu er kommen, da alle de Størrelser, hvoraf Hastigheden bestemmes, tilstedede en meget nøjagtig Udmaaling.

Ottende Kapitel.

Lysets Natur.

134. Emissionshypothesen. Til Forklaring af de Fænomener, Lyset frembyder, antog Newton, at der fandtes et særegent Lysstof, og at ethvert selvlysende Legeme i alle Retninger udslyngede smaa Dele af dette med den uhyre Hastighed af over 40000 Mile i Sekundet. Naar disse Lysdele traf Synsnerven, frembragte de Indtrykket af Lys. Da det var vanskeligt at indse Aarsagen til, at alle Lysdele, fra hvilket Legeme de end kom, havde samme Hastighed, antog Newton, at der til at frembringe et Lysindtryk fordredes en ganske bestemt Hastighed.

Da Lyset ikke frembringer nogen kjendelig mekanisk Virkning trods Delenes overordenlige Hastighed, maatte disse være overordenlig fine og tilmed uden Vægt, eftersom de ikke paa-virkedes af den almindelige Tiltrækning.

For at forklare Tilbagekastningen antog Newton, at de Legemer, der tilbagekaste Lyset, udøvede en Frastødning paa Lysdelene. Brydningen blev forklaret ved en Tiltrækning mellem det gjennemsigtige Legeme og Lysdelene. Kom en saadan i Nærheden af et Legeme, der bryder Lyset, bevirkede Tiltrækningen, hvis Retning falder sammen med Indfaldsloddet, at Lysdelens Bane blev krum med den konvexe Side udad, og inde i Legemet, hvor Tiltrækningen var lige stor i alle Retninger og altsaa blev ophævet, blev Banen da atter retlinet og rettet efter Tangenten til det Punkt, hvor Lysdelen trængte ind gennem Overfladen.

Newton forklarede paa denne Maade baade Lovene for Tilbagekastningen og Brydningen. Efter Newtons Hypothese angav Brydningsforholdet Forholdet mellem Lysets Hastighed i det Legeme, i hvilket Lyset trængte ind, og det, fra hvilket det kom. Jo stærkere derfor et Legeme bryder Lyset, desto større skulde dets Hastighed i dette være.

Da imidlertid de gjennemsigtige Legemer paa en Gang baade tilbagekaste og bryde Lyset, antog Newton endvidere, at Legemerne vare omgivne af forskjellige tiltrækkende og frastødende Lag, samt at Lysdelene vare underkastede periodiske Forandringer saaledes, at de i visse Øjeblikke bleve paavirkede af Legemernes frastødende, i andre af deres tiltrækkende Kræfter.

Farven blev forklaret ved at antage forskjellige Arter af Lysdele, og Farveadspredelsen ved Forskjellen i disse Lysdeles Tiltrækning af Legemerne.

Denne af Newton opstillede Emissionshypothese var saaledes meget sammensat, idet den ikke indskrænkede sig til en enkelt Antagelse, hvoraf samtlige Love for Lyset lode sig udlede, men byggede Hypothese paa Hypothese for at forklare de specielle Fænomener. Tilmed staar den i Strid med hvad der er godtgjort ved Forsøg, at Lysets Hastighed i Vandet er mindre end i Luften. Vi have derfor kun angivet den i dens almindelige Træk uden nærmere at gaa ind paa, hvorledes den nøjere forklarer Fænomenerne.

135. Bølgetheorien. Samtidig med Newton opstillede Huygens en anden Hypothese, ifølge hvilken Lyset ligesom Lyden skulde fremkomme ved en Bølgebevægelse. For at forklare Lysets Bevægelse gennem Verdensrummet antager Huygens dette opfyldt med et overordenlig fint, elastisk Stof, Ætheren, der gennemtrænger alle Legemer. Ifølge Huygens Hypothese, der kaldes Bølgetheorien, er det Svingninger i Ætheren, der fremkalde Lyset.

Førend vi nærmere gaa ind paa Forklaringen af Fænomenerne efter denne nu almindelig antagne Theori, ville vi først i Korthed angive det væsenligste ved en Bølgebevægelse. Det særegne ved en saadan bestaar i, at enhver lille Del af et Legeme, hvori denne Bevægelse foregaar, udfører smaa Svingninger om sin Hvilestilling saaledes, at den ene Halvdel af Banen tilbagelægges i samme Tid og paa samme Maade som den anden, men med modsat Hastighed, samt at denne Bevægelse forplanter sig videre til de andre Dele saaledes, at enhver lille Del i den Retning, hvori Bevægelsen foregaar,

efterhaanden kommer til at bevæge sig ganske paa samme Maade som de foregaaende, blot noget senere end disse.

Afstanden mellem to paa hinanden følgende Punkter i Forplantelsesretningen, der befinde sig paa samme Sted i deres Svingningsbane, og som bevæge sig i samme Retning, kaldes en Bølgebrede. To svingende Dele i den Retning, hvori Bevægelsen foregaar, hvis indbyrdes Afstand er en halv Bølgebrede, bevæge sig i modsatte Retninger.

En Flade, hvori alle Punkter befinde sig i samme Svingningstilstand, kaldes en Bølgeflade. Tænker man sig i et elastisk Stof et svingende Punkt, ville dettes Svingninger forplante sig til alle Sider, og er Hastigheden ens i alle Retninger, blive Bølgefladerne her Kugleflader. Bølgefladen er altsaa vinkelret paa den Retning, hvori Bevægelsen forplanter sig.

136. Skjøndt Huygens Theori blev antaget af flere store Videnskabsmænd som Hook og Euler, var Emissionshypothesen dog den almindelig gjældende til noget ind i dette Aarhundrede. Det var navnlig Young og Fresnel, der ved en nærmere Undersøgelse af de saakaldte Interferensfænomener, som under visse Forhold fremkomme, naar Lys virker paa Lys, paaviste Uholdbarheden af Newtons Anskuelse og Nødvendigheden af at opfatte Lyset som en Svingnings- eller Bølgebevægelse.

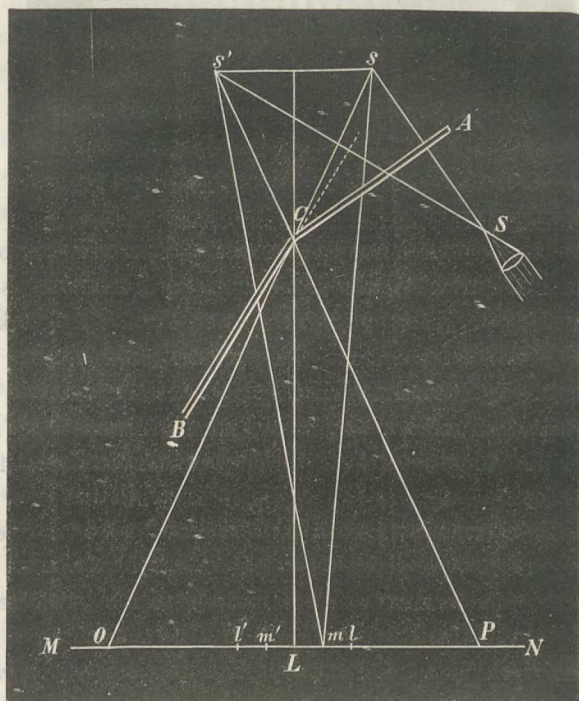
En fuldstændig Fremstilling af den herunder hørende Del af Lyslæren ligger imidlertid langt udenfor denne Bogs Grændser. Vort Formaal er her kun at komme til en begrundet Mening om den almindelige Natur af den Virksomhed, vi kalde Lys.

137. Fresnels Spejlforsøg. For at godtgjøre Emissionshypothesens Uholdbarhed udtænkte Fresnel et Forsøg, hvorved han frembragte Fænomener, der maatte fremkomme, hvis Bølge-theorien var rigtig, hvorimod de vare aldeles uforklarlige efter Newtons Anskuelse.

To plane Spejle AC og BC (Fig. 109) bleve opstillede saaledes, at de dannede en Vinkel paa næsten 180° med hinanden, og at Spejloverfladerne nøjagtig stødte sammen i samme Linie, saa at Kanten af det ene Spejl ikke ragede ud over det andet. Disse Spejle bestode af plane Glasplader, der vare

sværtede paa deres bageste Side, saa at Lyset alene kunde tilbagekastes fra Forsiden. Som Gjenstand brugte Fresnel et meget lille Solbillede S , der blev dannet ved at lade Sol-

Fig. 109.

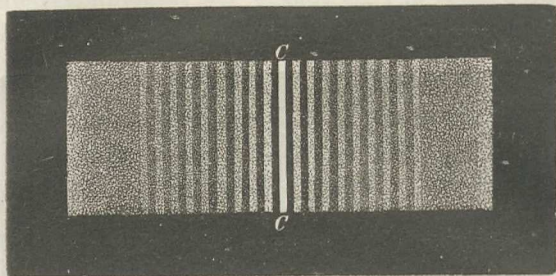


straalerne brydes gennem en Linse med en lille Brændvidde. I ethvert af Spejlene blev der da dannet et Billede s og s' af S . De fra Spejlene tilbagekastede Straaler opfangedes paa en Skærm MN , der var stillet vinkelret paa den Linie CL , som er draget fra Midtpunktet mellem Spejlbillederne vinkelret paa Spejlfladernes Sammenstødningslinie.

Bruger man nu ensfarvet Lys, hvad der kan faas ved at lade Solstraalerne trænge gennem en ensfarvet Glasplade, viser der sig paa den Del OP af Skærmen, der belyses af

begge Spejlene, en Række mørke og lyse Striber, parallelle med Spejlens Skæringslinie, saaledes som Fig. 110 viser det.

Fig. 110.



Tildækker man det ene Spejl, saa at Skærmen kun belyses af det andet, forsvinde alle Striberne, og Skærmen viser sig ensformig belyst. Borttager man atter Dækket, fremkomme Striberne øjeblikkelig paany. Fænomenet frembringes altsaa kun ved, at de Straaler, der tilbagekastes fra det ene Spejl, gribe ind i dem, der tilbagekastes fra det andet. Vi lære altsaa heraf, at Lys og Lys under visse Forhold frembringe Mørke.

Udfører man dette Forsøg efterhaanden med Spektrets forskellige Straaler, viser det sig, at Striberne ligge desto nærmere ved hinanden, jo mere brydbare Straalerne ere.

Bruge vi hvidt Lys, antager Fænomenet et noget andet Udseende, idet vi i Midten se en hvid Stribe omgivet af farvede Baand. Der vil ikke her nogetsteds fremkomme fuldstændig Mørke, fordi de forskjellig farvede Straaler ikke have deres mørke Striber paa samme Sted.

138. Den Omstændighed, at Lys og Lys kan give Mørke, er i Strid med Emissionshypotesen, ifølge hvilken en Lysdel føjet til en Lysdel maa forøge Lysstyrken; derimod er den en ligefrem Følge af Bølgetheorien. Tænke vi os nemlig samme Ætherdel blive paavirket af Svingningerne i to Straaler, kan det Tilfælde indtræde, at disse Svingninger gaa i modsatte Retninger; de ville i saa Fald enten delvis eller ganske ophæve hinanden, og der vil altsaa fremkomme Mørke. Foregaa Be-

vælgelserne derimod saaledes, at de understøtte hinanden, bliver Ætherdelen sat i stærkere Svingninger, eller med andre Ord, der fremkommer stærkere Lys.

Vi skulle nu nærmere forklare Fresnels Spejlforsøg efter Bølgetheorien og lære at kjende, hvad vi af dette Forsøg kunne erfare om Lyssvingningerne.

Da de Straaler, der udgaa fra S, efter Tilbagekastningen fra Spejlene ganske forholde sig, som om de udgik fra s og s', kunne vi betragte disse Punkter som to Bølgecentre, hvorfra der, eftersom de ere Billeder af samme Punkt, hvert Øjeblik udsendes identiske Svingninger. I lige store Afstande fra s og s' maa altsaa Svingningstilstanden være ens. I den midterste Stribe CC (Fig. 110) i Billedet paa Skærmen ville Svingninger fra s og s' altsaa foregaa i samme Retning, eftersom dens Punkter ligge i lige store Afstande fra de to Spejlbilleder. Vi faa altsaa her Lys. Fjerne vi os derimod fra Midtstriben, blive Afstandene til s og s' ikke længere lige store, og er ms' (Fig. 109) en halv Bølgebrede større end ms, ville Straalerne fra s og s' have modsatte Svingninger, og paa denne Maade fremkommer da de to første mørke Striber m og m', der begrænse Midtstriben. Fjerne vi os yderligere, ophører efterhaanden Uoverensstemmelsen i Svingningerne, og er Afstanden ls' til det ene Spejbillede en hel Bølgebrede større en ls, ere Svingningerne atter fuldkommen overensstemmende, og vi faa da her Lys.

De lyse og mørke Striber ere altsaa bestemte ved Forskjellen mellem deres Afstande fra s og s'. Udmaale vi nu disse Vejforskjelle, og kalde vi Forskjellen mellem Afstandene fra Midten af de to mørke Striber, der ligger hver paa sin Side af Midten af Billedet, $\frac{1}{2}l$, finde vi, at Vejforskjellen mellem Afstandene til s og s' fra den anden, tredie o. s. v. mørke Stribe fra Billedets Midte er udtrykt ved $\frac{3}{2}l, \frac{5}{2}l$ o. s. v. I Almindelighed findes Vejforskjellen til den p^{de} mørke Stribe, regnet fra Midten af Billedet, at være udtrykt ved $\frac{2p-1}{2}l$.

Udmaale vi Vefforskjellen fra de lyse Striber, finde vi derimod, at denne for den midterste og første, anden, tredje o. s. v. Stribe fra denne er udtrykt ved $0, \frac{2}{2}l, \frac{4}{2}l, \frac{6}{2}l$ eller i Almindelighed for den p^{de} Stribe fra Midten af Billedet $\frac{2p}{2}l$.

Hvilken Afstand Skærmen end har fra Spejlene, finde vi for samme Straaleart altid den samme Værdi for l . De mørke og lyse Striber af samme Orden ligge altsaa i Hyperbelgrene, hvis Brændpunkter ere de to Spejlbilleder.

139. Af det ovenfor udviklede fremgaar det, at Størrelsen l er Bølgebredden. For de Straaler, der høre til Midten af de forskellige Farver i Solspektret, fandt Fresnel følgende Værdier for Bølgebredden

Rødt....	0,000620 ^{mm}	Grønt....	0,000521 ^{mm}
Orange..	0,000583	Blaat....	0,000475
Gult....	0,000551	Violet...	0,000423.

Bølgebredden er altsaa mindst for de mest brydbare Straaler.

Det Antal Svingninger, en Ætherdel udfører i et Sekund, kalde vi Svingningstallet. I den Tid, hvori en enkelt Svingning udføres, har Lyset forplantet sig en Bølgebrede. Kalde vi altsaa Svingningstallet n , vil Lyset i et Sekund have bevæget sig en Strækning af n Bølgebreder. Benævne vi Lysets Hastighed ved H og Bølgebredden som før med l , faa vi altsaa

$$H = nl,$$

$$\text{hvoraf } n = \frac{l}{H}.$$

Da l og H ere bekjendte, kan n heraf findes. Fresnel fandt saaledes Middelværdien for de forskellige Farvestraalers Svingningstal at være for

Rødt....	500	Billioner
Orange..	530	—
Gult....	560	—
Grønt...	600	—
Blaat...	650	—
Violet...	730	—

Farveindtrykket afhænger altsaa ligesom vor Opfattelse af en Tones Højde af Svingningstallet. Jo større dette er for Lyssvingningernes Vedkommende, desto mere brydbar er Straalen.

140. Man kalder saadanne Fænomener, som det ovenfor beskrevne, der fremkomme ved to Lyssvingningers Vexelindgreb, saa at Lysstyrken paa nogle Steder forøges og paa andre svækkes, Interferensfænomener.

Anvender man i Stedet for de to Spejlbilleder af samme Lyspunkt to virkelige Lyspunkter, frembringes der ingen Interferens. Aarsagen hertil ligger i den Omstændighed, at Interferensen kun kan fremkomme, naar der fra de to Lyspunkter hvert Øjeblik udsendes overensstemmende Svingninger, en Betingelse, der ikke kan skaffes tilveje ved to forskellige Lyspunkter.

Bruger man ved Fresnels Forsøg i Stedet for det lille Solbillede en Lysgiver af større Udstrækning, som f. Ex. en almindelig Lampeflamme, faar man heller intet Interferensbillede. Aarsagen er den, at hvor de tilbagekastede Straaler fra et af Flammens Punkter ville interferere til Mørke, ville Straalerne fra andre Punkter af Flammen interferere til Lys, saa at Skærmen bliver ensformig belyst overalt.

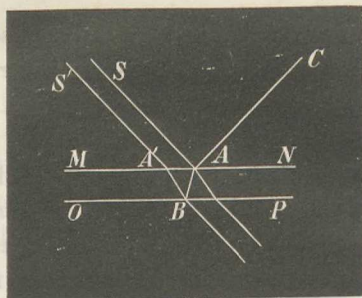
Af de mangfoldige Interferensfænomener, som Naturen viser os, eller som kunne fremstilles ved Forsøg, ville vi her kun omtale ganske enkelte uden dog at gaa ind paa en nøjere Forklaring af disse.

141. Tynde Hinders Farve. Alle gjennemsigtige, saavel faste og flydende som luftformige Legemer vise i meget tynde Lag mere eller mindre levende Farver. Et Exempel herpaa giver Sæbeboblen eller en Oliehinde, udbredt paa Vand.

Disse Farver fremkomme ved Interferens. Er nemlig SA (Fig. 111) en Lysstraale, der træffer Overfladen af en tynd Hinde MNOP, vil en Del af Lyset tilbagekastes i Retningen AC. En anden Straale S'A', der kommer fra samme Punkt i Lysgiveren som SA, vil delvis brydes og i B kastes tilbage

fra OP, dernæst atter brydes i A og forene sig med den her tilbagekastede Del af SA. Da de to Straaler, der for-

Fig. 111.



enes i AC, stamme fra samme Lyspunkt, vil man kunne indse Muligheden af, at deres Svingninger kunne forstærke eller svække hinanden, saa at der vil fremkomme Interferens.

Denne Art Interferens viser sig navnlig meget smukt, naar man paa en plan Glasplade lægger en Samlelinse med ringe Krumning (Fig. 112). Klemmer man Linsen fast mod

Fig. 112.



saaledes som Fig. 113 viser det. Belyser man derimod Glassene med hvidt Lys, er den mørke Plet i Midten om-

Fig. 113.



Pladen, fremkommer der i det tynde Luftlag mellem Glassene et Interferensbillede, der ved ensfarvet Lys bestaar af en Række koncentriske, mørke og lyse Ringe med en mørk Plet i Midten,

saaledes som Fig. 113 viser det. Belyser man derimod Glassene med hvidt Lys, er den mørke Plet i Midten omgivet af farvede Ringe, fordi de forskellige Farvestraalers mørke og lyse Ringe ikke komme til at ligge paa samme Sted.

Ogsaa ved det Lys, der gaar igjennem tynde Hinder, frembringes der lignende Interferensfænomener. Forskjellen er blot den, at der paa de Steder, hvor der ved tilbagekastet Lys fremkommer Mørke, frembringer det brudte derimod Lys, og omvendt. Ved hvidt Lys ere Farverne ved Tilbagekastning og Brydning komplementære.

142. Bøjningsfænomener. Fremkommer Lyset ved en svingende Bevægelse, maa det ligesom Lyden kunne bøje om Hjørner. Dette har Fresnel og Young og senere mange andre i Virkeligheden ogsaa vist at være Tilfældet. Lade vi saaledes Straalerne fra et enkelt Lyspunkt trænge gennem en snæver Spalte, og opstille vi i nogen Afstand bag denne en Skærm, iagttage vi, at den belyste Del af denne ikke er skarpt begrænset af Skyggen af Spaltens Rande, idet der langs Grændserne af den direkte belyste Del ved ensfarvet Lys viser sig en Række mørke og lyse Striber ligesom ved Fresnels Spejlforsøg. Udsender Straalepunktet hvidt Lys, ere Striberne farvede og ingen af dem fuldkommen mørke.

Bølgetheorien kan i de mindste Enkeltheder gjøre Rede for Fremkomsten af disse Striber, der hidrøre fra Interferens af de Svingninger, som udsendes fra de forskjellige svingende Ætherdele i den Del af Bølgen, der trænger igjennem Spalten.

Lader man en Lysbølge trænge ind igjennem flere smaa Aabninger, kunne de Interferensfænomener, der fremkomme ved Lysets Bøjning, blive overmaade sammensatte, men hvor udviklede disse Fænomener end ere, lade de sig dog forudberegne af Theorien, der netop herved er bleven stadfæstet paa den smukkeste Maade.

Hindrer man Udbredelsen af en Lysbølge ved en lille rund Plade, fremkommer der i den geometriske Skygge af denne Interferensringe. De farvede Ringe, man iagttager, naar man ser paa et Lys gennem en Glasplade, der er bestroet med Hexemel, hidrører fra denne Art Interferens.

En Glasplade, der er overtrukken med en fin Dug, giver lignende farvede Ringe, naar man betragter en Lysgiver igjennem den. De farvede Ringe, man undertiden ser om Solen og Maanen, hidrøre ligeledes fra Interferens ved Bøjning, der fremkaldes, naar Luften er opfyldt med fine Dugdraaber.

143. Polarisation og Dobbeltbrydning. Mange forskellige Fænomener, som det dog her vil være for vidtløftig at omtale, føre til den Antagelse, at Lyssvingningerne ere vinkelrette paa Straaleretningen. I det naturlige Lys, der

uden Tilbagekastning eller Brydning direkte kommer fra et selvlysende Legeme, foregaa Svingningerne i de forskjellige Punkter af Straalen i alle mulige Retninger; ved Tilbagekastning under bestemte Vinkler, eller Brydning gjennem en Stabel Glasplader, blive Svingningerne i det tilbagekastede eller brudte Lys derimod henførte til samme Plan. Saadant Lys, hvis Svingninger alle foregaa i samme Plan, siges at være polariseret eller plansat.

Det polariserede Lys adskiller sig fra det upolariserede ved forskjellige Egenskaber. Det tilbagekastes ikke med samme Intensitet under samme Indfaldsvinkel i forskjellige Indfaldsplaner. Det gaar ikke igjennem en Turmalinplade, hvis krystalliske Axe er parallel med Indfaldsplanet; danner Axen derimod en Vinkel med Indfaldsplanet, gaar det i desto rigeligere Mængde igjennem, jo mere denne Vinkel nærmer sig at være ret. To polariserede Straaler, der komme fra samme Lyspunkt, kunne ikke frembringe Interferens, naar Svingningerne i Straalerne foregaa vinkelret paa hinanden.

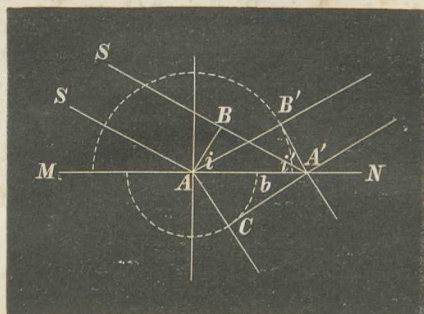
144. Mange Krystaller (Kalkspath, Kvarts) besidde den Egenskab, at de bryde Lyset saaledes, at den indfaldende Straale efter Brydningen spaltes i to Straaler. Dette Fænomen kaldes Dobbeltbrydningen. I nogle Krystaller (de enaxede) følger kun den ene af de brudte Straaler (den ordenlig brudte) de almindelige Love for Brydningen, medens den anden (den ejendommelig brudte) i Almindelighed træder uden for Indfaldsplanet og er af forskjellig Brydbarhed efter den Vinkel, den danner med Krystallens Axe. I andre Krystaller (de to-axede) følge ingen af de to Straaler nogen af Brydningslovene. Det Lys, der er gaaet igjennem Krystaller, som bryde Lyset dobbelt, er polariseret.

145. Tilbagekastning og Brydning. Vi skulle nu se, hvorledes Bølge teorien forklarer Tilbagekastningen og Brydningen.

Lad AB (Fig. 114) være en plan Bølgeflade, der i A træffer en plan Grændseflade MN mellem to Legemer; de paa AB vinkelrette Linier SA og SA' ville da forestille to parallelle

Straaler. Efterhaanden som Bølgen AB skrider frem, ville de forskellige Dele af denne træffe de mellem A og A' liggende

Fig. 114.



Punkter af Overfladen. Antage vi nu, at Ætherens Tæthed er forskjellig udenfor og indenfor MN, blive Svingningerne delvis tilbagekastede mellem A og A', og vi kunne da betragte ethvert Punkt i AA' som Midtpunkt for en Bølge, der atter udbreder sig udenfor MN. Medens nu Lyset bevæger sig fra B til A' i Straalen SA', vil Svingningen, der traf A, i det udenfor MN liggende Legeme have forplantet sig til en Kugleflade, hvis Radius AB' er lige stor med BA'. Paa lignende Maade udbreder Bevægelsen sig fra de andre Punkter af AA', efterhaanden som de træffes af Bølgen, i Kugleflader, hvis Radier forholde sig som deres Afstande fra A'. I det fælles Tangentplan A'B' til alle disse Kugler maa Svingningerne altsaa være overensstemmende; A'B' bliver altsaa Bølgeplanet i det tilbagekastede Lys og de paa denne vinkelrette Linier som AB' de tilbagekastede Straaler.

Da de to retvinklede Trekanter AB'A' og ABA' have to Sider ligestore, og altsaa ere kongruente, er $\angle BAA' = \angle B'A'A$, hvilke Vinkler ere ligestore med Indfalds- og Tilbagekastningsvinklen.

146. Er det Legeme, hvorfra Lyset tilbagekastes, gjennemsigtigt, ville Svingninger, der træffe AA', ogsaa udbrede sig

indenfor MN, men med en Hastighed, der er forskjellig fra Hastigheden i det første Legeme.

Lad Lysets Hastighed udenfor MN være n Gange større end i det gennemsgitige Legeme. Konstruere vi om A som Centrum en Kugle, hvis Radius AC er lig $\frac{1}{n}$ BA', bliver Tangentplanet A'C til denne Bølgefladen i det brudte Lys, eftersom alle Svingninger i denne ere overensstemmende, hvad der indses ganske paa samme Maade som ovenfor. AC bliver da den brudte Straale, idet SA er den indfaldende.

Af Figuren ses let, at $BA' = AA' \sin i$ og $AC = AA' \sin b$; altsaa

$$\frac{BA'}{AC} = \frac{\sin i}{\sin b}.$$

Da i og b her ere lige store med Indfalds- og Brydningsvinklerne samt $AC = \frac{1}{n} BA'$, faas heraf $\frac{\sin i}{\sin b} = n$, hvilket netop er Brydningsloven.

Ifølge Bølgetheorien er Lysets Hastighed følgelig omvendt proportional med Brydningsforholdet. Dette er ogsaa blevet direkte godtgjort ved Forsøg af Foucault (133).

