

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*

H.O.G. Ellinger.

Lærebog om Lyset.

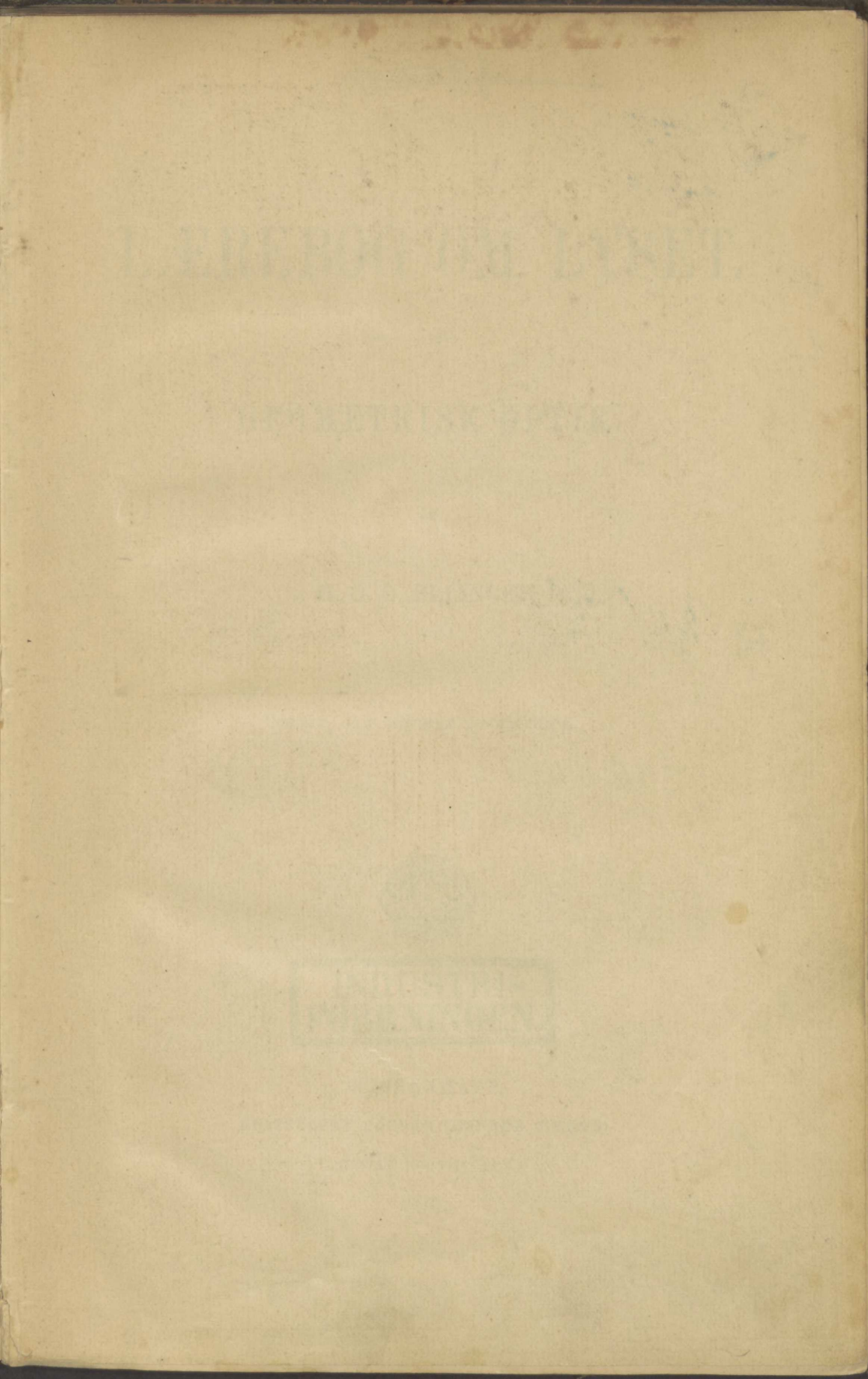
INDUSTRI-
FORENINGEN.

53.
4.

~~27~~

5353

~~5343~~





LÆREBOG OM LYSET.

GEOMETRISK OPTIK.

AF

H. O. G. ELLINGER.

MED 117 AFBILDNINGER.



**INDUSTRI-
FORENINGEN.**

KJØBENHAVN.

REITZELSKE FORLAG (GEORGE C. GRØN).

THIELES BOGTRYKKERI.

1895.

De fleste af Træsnittene ere udførte i *J. F. Rosenstand's*
xylografiske Atelier.

I og for sig er der næppe nogen følelig Trang til flere Lærebøger i Fysik herhjemme efter den rigelige Produktion i den sidste halve Snest Aar, og hvad Optikken angaar i det Omfang, hvori nærværende Bog er skreven, saa haves der alt Lærebøger af Direktør Adam Paulsen og Overlærer Julius Petersen; af disse to Bøger kender jeg fra Undervisning kun Paulsens i mange Henseender fortræffelige Bog. Jeg har imidlertid givet efter for forskellige Opfordringer og for Trangen til at have en Bog, der slutter sig nær til Ens egen Maade at tage Tingene paa; dog skylder jeg at nævne, at jeg ved som Censor at overvære Professor K. Prytz's Eksamination ved medicinsk Forberedelseseksamen har faaet Impuls til at medtage Enkeltheder hist og her, som jeg maaske ellers ikke vilde have tænkt paa at tage med.

Nærværende Bog indeholder kun den geometriske Optik; en kort Oversigt over den theoretiske Optik vil udkomme særskilt.

Stoffet er ordnet saaledes i Bogen, at der til Forstaaelsen ikke kræves noget, der først omtales senere hen; herfra danner dog det Lummer-Brodhunske Fotometer en Undtagelse, og det maa derfor forbigaaes ved den første Gennemlæsning; jeg har imidlertid taget det med, fordi det anses for at være det bedste og derfor har udstrakt Anvendelse ved videnskabelige Maalinger; for ganske nylig er dets Fortrinlighed rigtignok draget noget i Tvivl af en hollandsk Kommission.

Hr. cand. mag. Barmwater, der har været mig behjælpelig ved Korrekturlæsningen, og hvem jeg skylder flere gode Raad, bringer jeg herved min bedste Tak.

Oktober 1895.

H. O. G. Ellinger.

INDHOLD.

	Side
I. Lysets retlinede Gang [1—6].....	1.
II. Lysmaaling [7—12]	7.
III. Lysets Tilbagekastning (Refleksion) [13—31]	13.
a. Plane Spejle [16—21].....	15.
b. Kuglespejle [22—30]	20.
c. Cylindriske Spejle [31].....	32.
IV. Lysets Brydning (Refraktion) [32—40]	32.
V. Linser [41—48]	46.
VI. Lysets Farvespredning (Dispersion) [49—56].....	57.
VII. Øjet [57—66]	68.
VIII. Optiske Instrumenter [67—81]	76.
IX. Spektralanalysen [82—89]	92.
X. Lysets Hastighed [90—94]	107.

I. Lysets retlinede Gang.

1. **Lyset** er en Naturvirksomhed, der betinger, at Genstandene ses. Naar en Genstand ses, siger man, den sender Lys ind i Øjet; Lyset udsendes som Straaler, der gennemløbe Rummet, og naar en tilstrækkelig Mængde af saadanne trænger ind i Øjet, faar dette et Lysindtryk; Straalerne selv ere usynlige.

Saalænge Lyset forplanter sig i det samme Medium (det tomme Rum eller et og samme Legeme) ere Lysstraalerne rette Linier. Vi vide dette bl. a. deraf, at en Genstand ses i den Retning, hvori den i Virkeligheden befinder sig. Skyggedannelsen (4) og Billeddannelsen ved smaa Aabninger (6) viser ogsaa Lysstraalernes retlinede Gang. I det tomme Rum og Atmosfæren forplanter Lyset sig med en Hastighed af cr. 40000 Mil eller 300000 Kilometer i Sekundet, i andre Legemer er Hastigheden mindre.

Et Punkt, der udsender Lys, kaldes et Straalepunkt; en Samling af sammenhørende Lysstraaler et Straalebundt. Et Legeme, som udsender Lys, kaldes en Lysgiver; denne er en Samling af Straalepunkter. Et Straalepunkts Synsline er en Linie fra det iagttagende Øje i den Retning, hvori Øjet ser Straalepunktet. To Straalepunkters Synsvinkel er den Vinkel, som dannes af disse Punkters Synslinier; man kalder ogsaa Synsvinklen for Punkternes tilsyneladende Afstand. En Genstands tilsyneladende Størrelse er da Synsvinklen, under hvilken den ses, d. e. Vinklen imellem Synslinierne til to Yderpunkter; den er afhængig af Genstandens

virkelige Størrelse og dens Afstand fra Øjet. Solens tilsyneladende Diameter er godt $\frac{1}{2}^{\circ}$, Maanens en lille Smule mindre.

2. De Legemer, der af sig selv udsende Lys, siges at være selvlysende; saadanne Legemer ere Solen, Fiksstjernerne, Stjernesked, Ildkugler og i det Hele taget det, vi kalde glødende Legemer, som Gas-, Lys- og Lampeflammen, det Drummond'ske Kalklys, Magniumlyset, det elektriske Gløde- og Buelys. I de tre førstnævnte Flammer er det fine Kulpartikler, altsaa smaa faste Legemer, der gløde og derved lyse; ved Randen af Flammen forene de sig med Luftens Ilt og danne Kulsyre, og ved denne Forening udvikles stærk Varme, men Lysningen holder op. Holder man et koldt Stykke Porcellæn ind i en saadan Flamme, afsætte de fine Kulpartikler sig som Sod. I Bunsens Gaslampe trænger der Luft op igennem Flammen, saa at Forbrændingen gaar for sig i dennes Indre; denne Flamme, der mangler faste, glødende Legemer, lyser derfor kun svagt, men har en høj Temperatur. I Kalklyset bringes et Stykke Kalk til at gløde stærkt derved, at der brænder en Knaldluftflamme eller Gasflamme, til hvilken der ledes Ilt, imod det. I Magniumlyset forbrænder en Strimmel Magnium i Atmosfæren med et stærkt hvidt Lys til en tæt, hvid Røg. I Glødelampen bringes en fin Kultraad til at lyse derved, at der sendes en tilstrækkelig stærk elektrisk Strøm igennem den, og i Buelyset er det især de to Kulstængers Ender, og da navnlig den positive Spids, som lyser.

Legemer, der ikke ere selvlysende, kaldes mørke. Men et mørkt Legeme kan blive lysende, naar det træffes af Lysstraaler, naar det belyses. Legemet kan da ses ved de Lysstraaler, det kaster tilbage, og det kan med dem belyse andre Legemer. Jorden, Maanen og Planeterne ere mørke Legemer.

3. Et Legeme, der let kan gennemtrænges af Lyset, siges at være gennemsigtigt; kan Lyset kun gaa igennem det i ringe Grad, er Legemet gennemsinnende, og tillader Legemet slet ikke Lysets Gennemgang, er det uigennemsigtigt.

I tilstrækkelig tykke Lag blive gennemsigtige Legemer dog uigennemsigtige, og uigennemsigtige Legemer ere i meget tynde Lag gennemsinnende. — At Vand ikke er absolut

gennemsigtigt, ses bl. a. deraf, at naar man bringer et Stykke Kridt ned i Vand, taber det i Hvidhed, og det desto mere, jo dybere det kommer. Samtidig antager det en blaalig eller grønlig Farve; denne Farve kan i Havvand hidrøre fra organiske Stoffer, men selv rent, destilleret Vand er svagt blaaligt. — Paa Havets Bund er der fuldstændig mørkt. — Tyndt udhamret Guld er gennemsinnende med et blaaligt Skær.

4. Skyggedannelse. Naar Straalerne fra et Straalepunkt (S, Fig. 1) træffe et uigennemsigtigt Legeme, standser dette Straalerne, og bag Legemet kommer der et Rum, ind i hvilket Punktet ingen Straaler sender, og som kaldes Skyg-



Fig. 1.

gen. Det uigennemsigtige Legeme kaldes Skyggegiven. Skyggen begrænses af en Kegleflade, som har Straalepunktet til Toppunkt og tangerer Skyggegiven; den Linie paa Skyggegiven, hvori denne røres af Keglefladen, danner Grænsen imellem den Del af Skyggegiven, som belyses af Straalepunktet, og den Del, som ligger i Skyggen. Sættes en Skærm ind i Skyggen, viser der sig paa denne en mørk Plet, som kaldes Slagskyggen (ogsaa ofte slet og ret Skyggen); denne bliver desto større, jo længere borte Skærmen staar; maales Slagskyggens Diameter for forskellige Stillinger af Skærmen, finder man, at den staar i ligefremt Forhold til Skærmens Afstand fra Straalepunktet, og dermed er Lysstraalernes retlinede Forplantning godtgjort.

Vi ville dernæst betragte Forholdene, naar Straalepunktet ombyttes med et lysende Legeme, og for Simpelheds Skyld antage vi, at denne Lysgiver (A) saavel som Skyggegiven (B) ere Kugler. Vi faa her med to Skygger at gøre: Fuld-, Hel- eller Kærneskyggen og Halvskyggen. I Fuldskyggen trænger der ingen

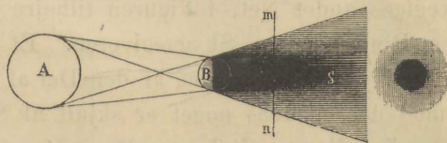
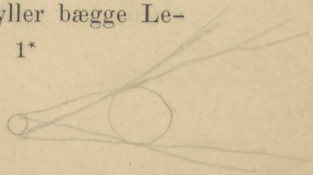


Fig. 2.

Lysstraale ind fra Lysgiveren, og Fuldskyggen er derfor begrændset af en Kegleflade, som udvendig omhyller bægge Le-



gernerne, og hvis Toppunkt S altsaa ligger udenfor Rummet imellem Legemerne. Uden omkring Fuldskyggen haves Halvskyggen, et Rum, hvis enkelte Dele belyses svagere, end hvis Skyggegivenen ikke havde været; dette Rum begrænses yderst af en Kegleflade, der tangerer Skyggegivenen, og hvis andet Net tangerer Lysgiveren, saa at Toppunktet ligger imellem Lys- og Skyggegivenen. Betragt vi et Punkt i Halvskyggen, saa faar man den Del af Lysgiveren, som sender Lys hen til Punktet, ved at lægge to Kegleflader med Punktet som Toppunkt, hvoraf den ene omhyller Lysgiveren, den anden Skyggegivenen; den Del af Lysgiveren, som ligger indenfor den første og udenfor den sidste Kegleflade, og som vender imod Punktet, belyser Punktet. Jo nærmere det betragtede Punkt er ved Fuldskyggen, desto svagere belyst er det, og omvendt. Sætter man en Skærm ind i Skyggesystemet (ved mn), ser man paa Skærmen en sort Plet, omgivet af en Cirkelring, der er mørkest inde ved den sorte Plet og derfra bliver lysere udefter. — Lader man Sollyset falde paa en Mønt og holder en Skærm bag denne, er Slagskyggen kun skarp, naar Skærmen holdes lige bag Mønten, da Halvskyggen der er smal.

Kaldes Lysgiverens Radius R , Skyggegivenens r , og Centrernes Afstand a , findes Fuldskyggens Længde (fra Skyggegivenens Centrum) at være $\frac{ar}{R-r}$. Dersom $R = r$, bliver

Fuldskyggen uendelig lang, thi Begrænsningen bliver en Cylinderflade. Dersom $R < r$, bliver Fuldskyggen ogsaa uendelig lang og begrænset af en Kegleflade, hvis Toppunkt ligger paa den modsatte Side af A .

Et Øje, der befinder sig i Fuldskyggen, kan intet se af Lysgiveren. Et Øje, der befinder sig indenfor Fuldskyggekeglens andet Net, i Figuren tilhøjre for S , ser af Lysgiveren en Ring udenom Skyggegivenen. Et Øje, der befinder sig i Halvskyggen, ser noget af den Del af Lysgiveren, der er vendt imod det, medens noget er skjult af Skyggegivenen.

5. Formørkelser. De i 4 omtalte Fænomener vise sig i Himmelummet ved Formørkelserne, hvoraf de vigtigste ere Sol- og Maaneformørkelser. Den første af disse, Solformørkelser, kan opstaa ved Nymaanetid, idet Maanen da befinder

sig i Rummet imellem Solen og Jorden. Det kan da hælde, at Maanens Plads paa Himlen falder saa nær sammen med Solens Plads, at man fra en Del af Jorden vil se Maanen dække Solen, helt eller tildels. Skal dette kunne ske, maa denne Del af Jorden befinde sig i Maanens Skygge. Længden af Maanens Fuldskygge findes af det i 4 angivne Udtryk, idet R (Solens Radius) er cr. 112 Jordradier, r (Maanens Radius) ca. $\frac{1}{4}$ Jordradius (231 Mil), og a (Maanens Afstand fra Solen) cr. 24000 Jordradier; man finder da cr. 59 Jordradier for Skyggens Længde, men varierende noget, fordi a varierer. Nu er Maanecentrets Afstand fra Jordcentret cr. 60 Jordradier, men varierende noget (Maanen gaar omkring Jorden i en Elipse med Excentriciteten $\frac{1}{8}$), og Spidsen af Maanens Fuldskygge kan derfor ved Nymaanetid falde saavel indenfor som foran Jordoverfladen, og vi kunne derfor faa saavel total som ringformig Solformørkelse paa en Del af Jordoverfladen. For et Sted paa Jorden, som kommer ind i Maanens Halvskygge, haves partiel Solformørkelse.

Maaneformørkelse kan fremkomme ved Fuldmaanetid, nemlig naar Maanen kommer ind i Jordens Skygge. Denne bliver noget mindre end Beregningen i 4 vil give, fordi de Solstraaler, der begrænse Skyggen, brydes noget i Atmosfæren omkring Jorden. I den Afstand fra Jorden, hvori Maanen findes, er Diameteren af Jordens Fuldskygge større end Maanens Diameter, saa at Maanen kan komme helt ind i Fuldskyggen og vi have total Maaneformørkelse; er kun en Del af Maanen i Jordens Fuldskygge, haves partiel Maaneformørkelse.

6. Billeddannelse ved smaa Aabninger.

Naar Lyset fra en godt lysende Genstand trænger igennem et lille Hul ind i et mørkt Rum og falder paa en hvid Flade, viser der sig paa denne et omvendt Billede af Genstanden. Fra hvert Punkt

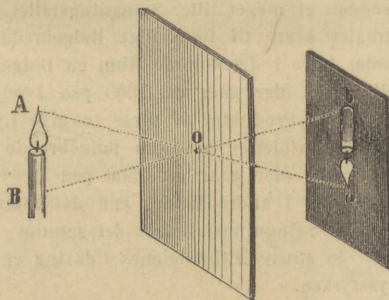


Fig. 3.

paa Genstanden vil der igennem Hullet gaa et Straalebundt, som ved at træffe Skærmen frembringer en til Punktet svarende Lysplet, hvis Form afhænger af Hullets Form. Alle disse Pletter ville tilsammen danne et Billede af Genstanden; dette Billede bliver dog ikke helt skarpt, fordi Lyspletterne delvis dække hinanden. Jo mindre Hullet er, desto skarpere, men lyssvagere bliver Billedet. Jo længere Skærmen er fra Hullet, desto skarpere bliver Billedet, thi de forskellige Lyskegler, som alle skære hverandre i selve Hullet, skille sig da mere ud fra hinanden, men Billedet bliver lyssvagere. Jo nærmere Skærmen er ved Hullet, og jo større dette er, desto mere fjerner Billedet sig fra Genstandens Form og nærmer sig til Hullets Form. Eksempler: de cirkelrunde eller elliptiske Lyspletter, der danne sig paa Jorden, naar Sollyset trænger igennem smaa Huller i Trærnes Løv; Pletternes Form, naar der er partiel Solformørkelse.

Lysets Natur. Lyset antages at være en Bølgebevægelse i et fint, elastisk Stof uden Vægt, Ætheren, som opfylder hele Rummet, baade det tomme Rum og de fysiske Legemer. Svingningerne i denne Æther fremkalde Lysindtrykkene. Et selvlysende Legeme er et Legeme, der formaar at sætte Ætheren i Svingninger, ligesom en Lydgiver kan sætte Luften i Svingninger, men medens Lydsvingningerne foregaa frem og tilbage i Forplantningsretningen, saa nødes vi til at antage, at Lyssvingningerne ere Tværsvingninger, at Ætherdelene svinge tværs paa den Retning, hvori Lyset forplanter sig, i Almindelighed ud til alle Sider derfra. Under en hel Svingning af en Ætherdel forplanter Lyset sig en Bølgebredde fremad, saa at ogsaa her Forplantningshastigheden (Vejen, som Lyset tilbagelægger i 1 Sekund) er lig Produktet af Bølgebredden og Svingningstallet (Antallet af Svingninger i 1 Sekund). Forsøg af meget forskellig Art vise, at Bølgebredden er meget lille, Svingningstallet meget stort. De forskellige Farvestraaler svare til forskellige Bølgebredder. De mindst brydbare Straaler (røde) have i det tomme Rum en Bølgebredde paa 760 Milliontedele af en Millimeter (der gaar ca. 1300 paa 1^{mm}) og et Svingningstal paa ca. 400 Billioner; Produktet af disse to give Lysets Hastighed; de mest brydbare Straaler (violette) have en Bølgebredde paa ca. 400 Milliontedele af en Millimeter (der gaar ca. 2500 paa 1^{mm}) og et Svingningstal paa ca. 760 Billioner. I andre Medier end det tomme Rum er Bølgebredden mindre, medens Svingningstallet er det samme

Jo større Ætherdelenes Udsving er fra Hvilestillingen, desto større er Lysstyrken.

Man kan paa forskellig Maade faa det indrettet saaledes, at Ætherdelenes Svingninger ikke foregaa ud til alle Sider fra Forplantningsretningen, men alle svinge i samme Plan; Lyset siges da at være plansat eller polariseret, og Svingningerne foregaa da i parallelle Retninger.

II. Lysmaaling.

7. Udstraaling og Belysning. Ved en Flades Belysning forstaar man den Mængde Lys, som en Fladeenhed af den modtager i hvert Sekund.

Den Mængde Lys, som en lysende Flade sender hen til en anden Flade, beror paa Lyskildens Beskaffenhed og paa Fladernes Størrelse og Stilling til hinanden.

Vi betragte først to smaa, plane Fladeelementer.

a. Da hver lille Del af det lysende Fladeelement sender Lys hen til hver lille Del af det andet Fladeelement, saa maa den hele Lysmængde, der gaar fra det første til det sidste, være proportional med Produktet af Fladeelementernes Størrelse.

b. Hvad Afstanden mellem de to Fladeelementer angaar, saa se vi dennes Indflydelse paa Lysmængden ved følgende Betragtning. Omskriver man et lysende Punkt, der i hvert Sekund udsender en Lysmængde L , med en Kugleflade med Radius r , saa modtager hver Fladeenhed af denne Kugle en Lysmængde $\frac{L}{4\pi r^2}$ i hvert Sekund. Lysmængden, der naaar til en Fladeenhed, er altsaa omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden fra Lysgiveren til den belyste Flade.

c. Den Indflydelse, som det lysende Fladeelements Stilling til de udsendte Lysstraalers Retning har, finder man af den Kendsgerning, at glødende Legemer paa Afstand se ud, som om de vare ensformig lysende plane Flader (Solen, Maanen, en glødende Metaltraad, en kantet, glødende Metalstang). Forestiller $ABCDE$ (Fig. 4) Tværsnittet af en glødende Metalstang, der ses i stor Afstand i en Retning, der f. Eks. er vinkelret paa BC , saa viser Stangen sig som en lysende, plan Plade med Bredden FG , idet AF og DG ere parallelle med Straaleretningen til Øjet; dette ser derfor ikke Kanterne B og C .

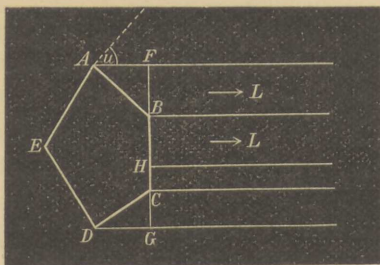


Fig. 4.

Indenfor to ligestore Tvær-
 snit af Lysstraalebundtet gaar
 der altsaa ligestore Lysmæng-
 der; lad os antage $BH = FB$
 og betragte to ens Arealer
 bestemte ved disse Linier,
 saa vil der gaa samme Lys-
 mængde fra Arealet BH som
 igennem Arealet FB ; denne

Lysmængde være L ; men den L , som passerer Arealet FB ,
 kommer fra Fladen AB paa Legemet. Lysmængden, der ud-
 gaar fra hver Fladeenhed af AB , er da $k_1 = \frac{L}{AB}$; Lysmængden,

der udgaar fra hver Fladeenhed af BH , er $k = \frac{L}{BH}$, og deraf faas

$$\frac{k_1}{k} = \frac{BH}{AB} = \frac{FB}{AB} = \cos \angle ABF = \cos u, \text{ hvoraf } k_1 = k \cos u,$$

idet u er Udstraalingsvinklen for Fladen AB 's Vedkom-
 mende, $\circ$: Vinklen imellem Udstraalingens Retning og Perpen-
 dikulæren paa Fladen. Heraf faas Loven: Udstraalingen fra
 et Fladeelement er proportional med cosinus til
 Udstraalingsvinklen.

d. Et Fladeelements Belysning staar i ligefremt
 Forhold til cosinus af Indfaldsvinklen, $\circ$: den Vinkel,
 som det indfaldende Lys's Retning danner med Perpendikulæren
 paa Fladen. Dette indses saa-

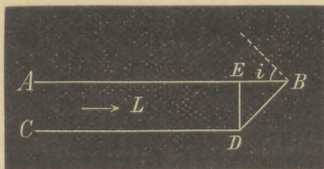


Fig. 5.

ledes: Lad AB og CD være
 Grænserne for et Bundt af pa-
 rallele Straaler, og lad os antage,
 at en Lysmængde L passerer hvert
 Tværnsnit af Bundtet i en Tidsenhed.

Stilles nu en Flade BD skraat

ind i dette Straalebundt, saa vil hver Fladeenhed af BD mod-
 tage Lysmængden $b_1 = \frac{L}{BD}$; stilles der derimod en Flade DE

ind i Bundtet vinkelret paa Straalerne, bliver Belysningen

$b = \frac{L}{DE}$. Man faar heraf

$$\frac{b_1}{b} = \frac{DE}{BD} = \cos \angle BDE = \cos i, \text{ hvoraf } b_1 = b \cos i.$$

e. Lysmængden, der udgaar fra et lysende Fladeelement, beror endelig paa dettes Beskaffenhed, d. v. s. paa dets Temperatur og dets Udstraalingsevne, hvilken sidste er afhængig af Overfladens Beskaffenhed.

8. Belysningsformlen. Et Fladeelement f vil efter det Foregaaende til et andet Fladeelement s i Afstanden r sende en Lysmængde, der kan skrives som



Fig. 6.

$$k \frac{f \cdot s \cdot \cos u \cdot \cos i}{r^2},$$

hvis u og i ere Forbindelsesliniens Vinkler med de respektive Fladers Normaler, og k er en Størrelse, som beror paa den lysende Plades Natur; denne Størrelse kalder man Lysgiverens Intensitet, og dens Betydning findes ved at sætte $f = 1$, $s = 1$, $r = 1$, $u = 0$ og $i = 0$, thi da bliver den paagældende Lysmængde til k . En Lysgivers Intensitet er altsaa den Mængde Lys, som en Fladeenhed udstraalet vinkelret hen til en anden Fladeenhed i Enhed af Afstand.

Sætter man s lig 1, bliver Udtrykket

$$k \frac{f \cos u \cos i}{r^2}$$

den Belysning, som en Flade faar fra en lysende plan Flade f med Intensiteten k i Afstanden r , naar Udstraalingsvinklen er u og Indfaldsvinklen i .

9. Lysevne (Lysstyrke). Hvis en større Lysgiver sender Lys til en Flade, saa har man for den hele Lysmængde, som en Fladeenhed modtager,

$$k_1 \frac{f_1 \cos u_1 \cos i_1}{r_1^2} + k_2 \frac{f_2 \cos u_2 \cos i_2}{r_2^2} + \dots = \Sigma k \frac{f \cos u \cos i}{r^2}$$

hvor $f_1, f_2, f_3 \dots$ ere de forskellige Fladeelementer paa Lysgiveren, $k_1, k_2, k_3 \dots$ de respektive Intensiteter, $r_1, r_2, r_3 \dots$ de respektive Afstande fra den belyste Fladeenhed o. s. v.

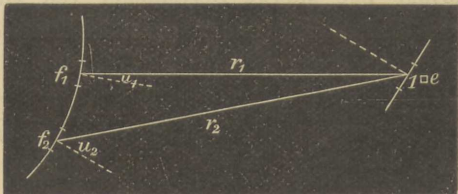


Fig. 7.

I Praksis har man nu med saadanne Dimensioner at gøre, at man kan bortse fra, at Afstandene r ere forskellige, og ligesaa fra, at Indfaldsvinklerne i ere forskellige; man faar saa for Fladens Belysning

$$\frac{\cos i}{r^2} \Sigma k f \cos u,$$

hvor Størrelsea $\Sigma k f \cos u$ alene vedrører Lysgiveren og kaldes dens Lysevne i Retningen r ; kaldes Lysevnen E , bliver Fladens Belysning

$$\frac{E \cos i}{r^2};$$

træffe Straalerne fra Lysgiveren vinkelret paa den belyste Flade, faar man for Belysningen

$$\frac{E}{r^2}.$$

Da $r = 1$ giver Belysningen lig E , kan man ogsaa definere en Lysgivers Lysevne, som den Belysning, den frembringer ved vinkelret Bestraaling i Enhed af Afstand; men det maa altsaa erindres, at Lysevnen kan være forskellig i forskellige Retninger ud fra Lysgiveren.

I Stedet for Lysevne siger man ogsaa Lysstyrke.

En almindelig Gas-Fladbrænder viser sig at have meget nær samme Lysevne fra Fladen som fra Kanten; da det er de smaa Kulparkler i Flammen, der lyse, ser man, at der maa være omtrent lige mange, der i de to Tilfælde bidrage til Belysningen, at de altsaa ikke ere tilstede i Flammen i større Antal end, at de ikke skygge for hverandre. Et elektrisk Buelys har derimod forskellig Lysevne i forskellige Retninger.

10. Lysmaalingen eller Fotometrien gaar ud paa at sammenligne forskellige Lysgiveres Lysevner eller Lysstyrker. Fremgangsmaaden er den, at man lader de to Lysgivere frembringe lige stærke Belysninger ved vinkelret Bestraaling eller ved Bestraaling under ligestore Indfaldsvinkler (i); for disse Belysninger haves i første Tilfælde

$$B = \frac{E}{r^2} \text{ og } B_1 = \frac{E_1}{r_1^2},$$

og i det andet Tilfælde

$$B = \frac{E}{r^2} \cos i \text{ og } B_1 = \frac{E_1}{r_1^2} \cos i,$$

hvor E og E_1 ere de respektive Lysgiveres Lysevner, og r og r_1 de respektive Afstande fra Lysgiveren hen til de belyste Flader. Da nu B er gjort lig B_1 , faar man i bægge Tilfælde

$$\frac{E}{r^2} = \frac{E_1}{r_1^2} \text{ eller } E : E_1 = r^2 : r_1^2,$$

d. v. s.: naar to Lysgivere frembringe lige stærke Belysninger, staa deres Lysevner i ligefremt Forhold til Kvadratet paa Afstanden til de belyste Flader.

11. Lysmaalere eller Fotometre:

Ritschie's Lysmaaler bestaar af en vandret, indvendig sværtet Trækasse, i hvis Midte der findes et tresidet Træprisme, hvis to Sider danne Vinkler paa 45° med Kassens Bund; over disse to Sider er der klæbet et Stykke hvidt Papir.

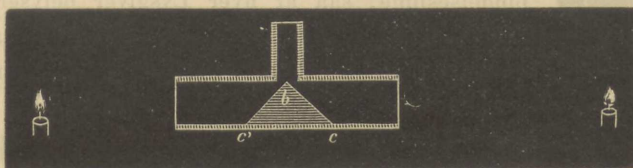


Fig. 8.

Prismets to Sider kunne betragtes igennem et lodret Rør. De to Lysgivere findes hver ud for sin Aabning af Kassen og bringes i saadanne Stillinger, at man ser de to Sideflader lige lyse, i hvilket Tilfælde man ikke kan se den opadvendte Kant; man udmaaler saa Lysgivernes Afstande fra Prismefladerne og anvender ovennævnte Lov.

Bunsens Lysmaaler. Naar et Stykke hvidt Papir har en Fedtplet, og man belyser Papiret forfra, viser Pletten sig mørkere end det øvrige Papir; belyses det derimod bagfra, er Pletten lysere end Papiret. Dette ligger i, at Pletten lader meget Lys gaa igennem sig og kun kaster lidt tilbage; Papirtrævlerne ere nemlig hver for sig gennemsigtige, men paa Grund af deres Mængde vil den hyppige Tilbagekastning af en Lysstraale, der søger at bane sig Vej igennem Papiret, svække den stærkt; denne Tilbagekastning formindskes i betydelig Grad, naar der kommer Olie eller Fedt imellem Trævlerne i Stedet for Luft. Naar nu et Stykke Papir med en Fedtplet belyses lige stærkt

fra bægge Sider, kan man ikke skelne Pletten fra det øvrige Papir. Dette har Bunsen benyttet i sin Lysmaaler; denne bestaar af en lodret Skærm af hvidt Papir med en Stearinplet paa og bruges saaledes. Paa den ene Side af Skærmen i nogen Afstand derfra opstilles en eller anden Lampe, og paa Skærmens modsatte Side anbringer man først den ene af de to Lyskilder saaledes, at Pletten bliver usynlig, og bagefter den anden, saaledes at Pletten igen bliver usynlig; Afstandene i disse to Tilfælde aflæses, og deraf beregnes Forholdet imellem Lysstyrkerne.

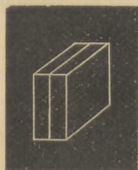


Fig. 9.

Joly's Lysmaaler bestaar af to lige tykke, firkantede Stykker Paraffin, lagte sammen med et Stykke Stanniol imellem. Denne Dobbeltplade holdes imellem de to Lysgivere og tværs paa deres Forbindelseslinie, saa at hver Lysgiver belyser sin Plade, og naar den er flyttet hen til en saadan Stilling, at de to Plader, betragtede paa Kanten, vise sig lige lyse, udmaales Afstandene.

Det Lummer-Brodhun'ske Fotometer har følgende Indretning. Vinkelret paa Maalestocken mn er Skærmen ik ,

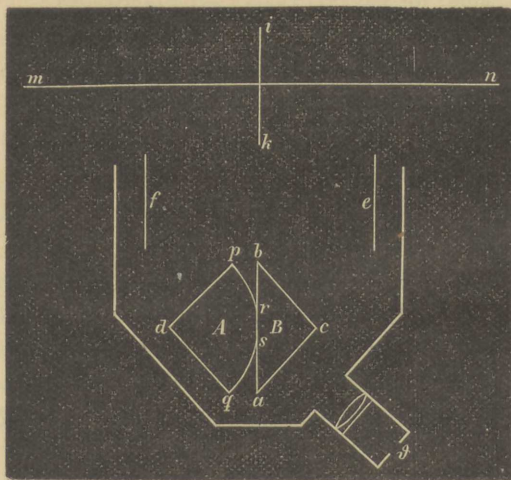


Fig. 10.

bestaaende af to hvide Papirblade med Stanniol imellem, anbragt; det vedspredt Tilbagekastning fra Skærmen udgaaende Lys falder paa Spejlene e og f , som kaste det vinkelret hen paa de to Katheteflader bc og dp af Glasprismerne A og B . Fladen ab er plan, men pq kugleformig og kun paa

Midten (ved rs), hvor den er trykket stærkt imod ab , er den plan. Lyset, som naar til rs , gaar fuldstændig igennem. Et

ved δ værende Øje vil altsaa fra f kun opfange det Lys, som trænger igennem rs , og fra e alt Lys, som træffer ab udenfor rs . Igennem en forskydelig Lupe ser man derfor en skarpt begrændset Plet, omgivet af et Felt, som er lysere eller mørkere end Pletten, eftersom Belysningen fra højre er stærkere eller svagere end fra venstre; men naar de to Belysninger ere lige stærke, forsvinder Pletten fuldstændig.

Med disse Lysmaalere kan man kun undersøge Lyskilder, der have meget nær samme Farve. Da der er Grændser for den Nøjagtighed, med hvilken Øjet kan bedømme, om to Belysninger ere ligestore, ville Lysmaalinger let kunne være beheftede med en lille Fejl; for den Øvede vil Fejlen dog, naar en af de bedste Lysmaalere benyttes, ikke overskride 1 pCt.; bruges det sidst omtalte Fotometer, skal Fejlen endog højst beløbe sig til $\frac{1}{4}$ pCt.

At Loven for Belysningens Afhængighed af Afstanden er rigtig, kan vises med Fotometrene; det viser sig nemlig, at den Belysning, som eet Lys frembringer i en vis Afstand, den frembringes af fire dermed ens Lys i den dobbelte Afstand, af ni Lys i den tredobbelte Afstand o. s. v.

Undersøgelserne maa foretages i et Værelse, hvor alt er sortmalet, og hvortil fremmed Lys ingen Adgang faar.

12. Lysenhed. Som Enhed for Lysmængde har man foreslaaet den Mængde Lys, der i 1 Sekund udstraalet fra 1 $\square^{\text{cm}}$ flydende Platin i Størkningsøjeblikket. Det har dog hidtil ikke været muligt at gøre praktisk Brug af denne »absolute Enhed«. Som praktisk Enhed bruges efterhaanden mest Lyset fra en Amylacetat-Lampe, hvor ren Amylacetat forbrænder i en Væge med en indre Diameter paa 8^{mm}, en ydre paa 8,2^{mm}, og hvor Flammehøjden er 40^{mm}; Lysstyrken er omtrent $\frac{1}{20}$ af den nys nævnte. I England bruges som Enhed et Spermacetyllys, der med en Flammehøjde af 45^{mm} forbruger 7 $\frac{3}{4}$ gr. i Timen.

III. Lysets Tilbagekastning (Refleksion).

13. Naar Lyset træffer Grænsefladen imellem to Legemer, vil en Del af det blive kastet tilbage, medens en anden Del bliver brudt, α : gaar videre ind i det andet Legeme i en

anden Retning end den oprindelige, og noget heraf eller alt bliver indsuget (absorberet). Foreløbig beskæftige vi os med Lysets Tilbagekastning, senere med dets Brydning.

14. Tilbagekastningsloven. Vi ville tænke os, at Lyset kommer fra det tomme Rum eller Luften og træffer et Legemes Overflade. Dersom denne Overflade er glat, finder der en regelmæssig Tilbagekastning Sted; er Overfladen ru, bliver Lyset kastet uregelmæssig eller spredt tilbage.

Lad MN være en glat, plan Flade (blank poleret Metalflade, Overfladen af Kviksølv), saa vil en Lysstraale SA , der træffer Fladen i Punktet A , blive tilbagekastet saaledes, at den tilbagekastede Straale ligger i Plan med den indfaldende Straale og Indfaldssloddet, α : Perpendikulæren paa Fladen i Punktet A ; endvidere saaledes at Indfaldsvinklen, α : Vinklen imellem den indfaldende Straale og Indfalds-

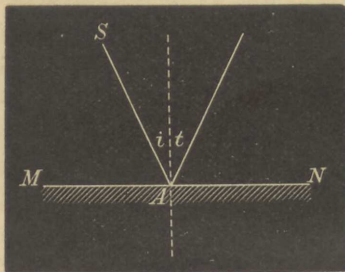


Fig. 11.

loddet, er lig Tilbagekastningsvinklen, α : Vinklen imellem den tilbagekastede Straale og Indfaldssloddet.

Dette kan godtgøres ved Hjælp af det i Fig. 12 afbildede Apparat. Det bestaar af et plant Spejl f (Fig. viser os

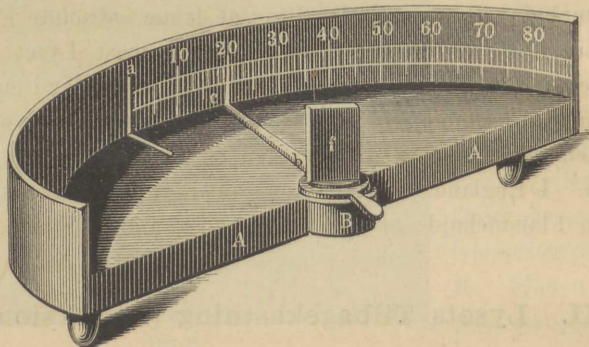


Fig. 12.

Spejlets Bagside), der er drejeligt om en Akse, som staar vinkelret i Centrum paa det halvcirkelformede Brædt A ; tværs

paa Spejlet f gaar en Messingviser bc , der drejer sig med Spejlet og altsaa viser Retningen af dets Indfaldslod. Om den halvrunde Del af Brædtet A er der lagt en over dette ragende Halvkreds af Messingblik med en Ridse a paa Midten og Gradeinddelinger herfra ud til en af Siderne. Sendes der nu et Straalebundt igennem Spalten a hen til Spejlet f , vil dette Straalebundt altid blive kastet hen paa den Inddeling, hvis Gradetal er dobbelt saa stort som Gradetallet for den Inddeling, paa hvilken Viseren peger. Peger Viseren altsaa paa 20, falder Lyset paa 40, o. s. v.

15. Hvis den glatte Overflade er krum i Stedet for plan, gælder den samme Lov, idet Indfaldsloddet saa er Perpendikulæren paa Tangentplanet til Punket A . Havde Fladen været ru, saa vilde Loven ogsaa gælde; men de tilbagekastede Straaler faa da alle mulige Retninger (spredt eller uregelmæssig Tilbagekastning), thi den ru Flade bestaar af en uendelig Mængde smaa Fladeelementer, der vende udefter til alle Sider, saa at Indfaldsloddene faa alle mulige Retninger ud fra Fladen; et Øje, der er vendt imod Fladen, vil altsaa se Fladen, thi denne forholder sig, som om den af sig selv udsendte Lys i alle mulige Retninger. Er Fladen derimod fuldstændig glat, saa at man har den regelmæssige Tilbagekastning, saa vil man ikke se selve Fladen, men derimod — saaledes som det nedenfor skal blive vist — Billeder af de Genstande, som sende Lysstraaaler imod Fladen; denne er spejlende. Et poleret Bord kaster Lyset baade regelmæssig og uregelmæssig tilbage; det er ikke absolut glat og danner lyssvage Spejlbilleder.

a. Plane Spejle.

16. Billedpunkt. Naar et Straalepunkt sender Lysstraaaler imod et plant Spejl, tilbagekaster dette Straalerne i Retninger, som om de kom fra et Punkt, der ligger lige saa langt bagved Spejlet, som Straalepunktet ligger foran Spejlet. Dette bevises saaledes: Straalen SA (Fig. 13) er tilbagekastet i Retningen $A\theta$, idet $\angle i = \angle t$. Fra S fældes en Perpendikulær paa Spejlet, og $A\theta$ forlænges ud over A , indtil den træffer denne Perpendikulær ($i B$). Man har da $\triangle SCA \cong \triangle BCA$, thi $CA = CA$, $\angle SCA = \angle BCA$

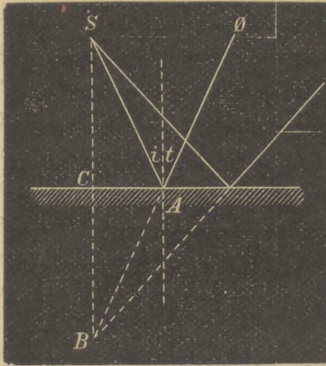


Fig. 13.

$= 90^\circ$ og $\angle SAC (= 90^\circ \div i)$
 $= \angle BAC (= 90^\circ \div t)$; følgelig
 er $SC = CB$. Hvad der her gælder
 om den vilkaarlig valgte Straale
 SA, maa gælde om alle Straaler,
 der udgaa fra S og træffe Spejlet;
 de maa alle, forlængede bagud,
 skære hverandre i B. Et Øje,
 der træffes af de fra Spejlet
 tilbagekastede Straaler, vil se S
 som værende i B. B er Spejl-
 billede eller Billedpunkt af S.

17. Billeder i plane Spejle. En lysende Genstand er en Samling af Straalepunkter, og befinder Genstanden sig foran et plant Spejl, vil et Øje, der er vendt imod dette, kunne se et Billede af Genstanden symmetrisk med denne.

AB (Fig. 14) være en Genstand foran Spejlet MN, Ø et Øje, der er vendt imod Spejlet. Ø ser da AB, som om den var i A_1B_1 , hvis Punkter ligge lige saa langt bag Spejlet,

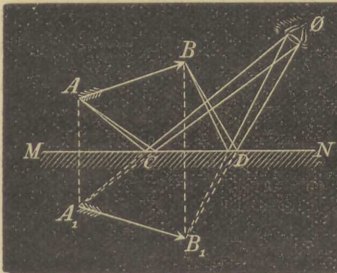


Fig. 14.

som de tilsvarende Punkter paa Genstanden ligge foran Spejlet. Vi kunne let finde det Straalebundt for et Punkt paa Genstanden, f. Eks. A, som bevirker, at Øjet ser dets Billede; Øjet maa nemlig modtage en Straalekegle, som har A_1 til Toppunkt og Øjeaabningen til Grundflade; kun den Del CØ af denne Kegle, som ligger foran Spejlet,

er virkelige Lysstraaler, idet den er en Samling af de i Straalekeglen AC værende og nu tilbagekastede Straaler. Paa lignende Maade tilbagekastes Straalerne i Bundtet BD i Retningen DØ, hvilken Retning er bestemt ved, at Straalerne i DØ forlængede skulle mødes i B_1 . For at Øjet Ø skal kunne se hele Billedet A_1B_1 , behøves kun Spejlstykket CD; flytter Øjet sig til Siden, benyttes en anden Del af Spejlet.

At Billedet og Genstand ligge symmetrisk med Hensyn til Spejlfladen, kan man vise ved som Spejl at benytte en gennemsigtig Glasplade og paa dennes to Sider anbringe henholdsvis et brændende Lys og en med Vand fyldt Karaffel, saaledes at Karafflens Midte netop er paa det Sted, hvor Lysets Spejl-billede skal falde efter Konstruktionen. Naar man saa ser ind i Glasset fra den Side, hvor Lyset befinder sig, ser det ud, som om det stod inde i Vandet og brændte.

18. Spejle forfærdiges i Almindelighed af Metal. De sædvanlige Spejle bestaa af en planparallel Glasplade, hvis ene Side er beklædt med et tyndt Lag Tinamalgam, som beskyttes af Glasset. Lyset tilbagekastes saavel fra Glassets Forside (den ubelagte Side) som fra Bagsiden (Metalfladen), men i overvejende Grad fra den sidste. I Spejle af blankt poleret Staal, Sølv eller Glas, som er forsolvet eller platineret paa Forsiden finder der kun een Spejling Sted, saa at Dobbelt-billeder ere undgaaede. — Vædskeoverflader ere ogsaa spejlende (Kviksølv, Vand), Luftarter ogsaa (36); i Reglen bliver Størstedelen af det Lys, der træffer en Vædskeoverflade, brudt ind i denne og der ofte for en stor Del absorberet (f. Eks. i Blæk).

Mængden af det fra en plan Flade regelmæssig tilbagekastede Lys afhænger af Substansen, Polituren og Indfaldsvinklen. Ved vinkelret Bestraaling er Tilbagekastningen svagest (fra Vand 2 pCt., fra Glas 4—8 pCt., fra Spejlmatal cr. 60 pCt., fra Kviksølv cr. 70 pCt.), men jo større Indfaldsvinklen bliver, desto større Procentmængde kastes der tilbage (Indsøer ere stærkt spejlende for Lys, der falder meget skraat imod Overfladen; ved en Indfaldsvinkel paa 80° tilbagekastes $\frac{1}{3}$ af Lyset fra en Vandflade).

19. Vinkelspejle. Naar en Genstand befinder sig imellem to Spejle, dannes der en Række af Spejl-billeder; dette ligger i, at de Straaler, der udgaaede fra et Straalepunkt tilbagekastes af et Spejl, forholde sig ganske, som om de udgik fra et Punkt, der ligger symmetrisk med Straalepunktet med Hensyn til Spejlet, og altsaa forholder dette Billedpunkt sig overfor et andet Spejl som et selvstændigt Straalepunkt. Altsaa vil en Genstand mellem to Spejle for det første spejle

sig i dem bægge, men dernæst vil Spejlbilledet i det ene Spejl spejle sig i det andet o. s. fr.

Et Lys, der anbringes imellem to parallelle Spejle, vil spejle sig saa at sige uendelig mange Gange, men jo oftere Lyset er tilbagekastet imellem Spejlene, desto lyssvagere bliver Billedet. — Danne Spejlene en Vinkel med hinanden, bliver Antallet af Spejlbilleder begrænset. Det gælder her om Genstand og alle dens Spejlbilleder, at de ligge i samme Afstand fra Spejlenes Skæringslinie, og dette ligger i, at et

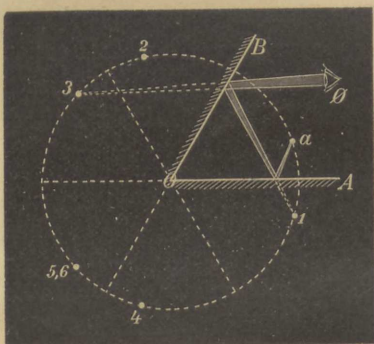


Fig. 15.

Straalepunkt og dets Spejlbillede ligge lige langt fra ethvert Punkt i Spejlet, og Skæringslinien er jo fælles for bægge Spejle. I Fig. 15 er vist to Spejle OA og OB , der danne en Vinkel paa 60° med hinanden, og imellem dem et Straalepunkt a ; dets Spejlbilleder tegnes lettest ved Hjælp af en Cirkel igennem a med med O til Centrum. Man

ser, at a spejler sig som 1 i OA , som 2 i OB ; 1 spejler sig atter som 3 i OB , 2 som 4 i OA ; 3 spejler sig som 5 i OA , og 4 som det dermed sammenfaldende 6 i OB . I Figuren er vist Straalegangen imellem de to Spejle, som bevirker, at et Øje $\emptyset$, der rettes imod Spejlet OB , ser Spejlbilledet 3.

Jo mindre Vinkel Spejlene danne med hinanden, desto flere Spejlbilleder er der. Genstand og Billeder ligge symmetriske med Hensyn til bægge Spejlene.

Denne gentagne Billeddannelse er anvendt i Kalejdoskopet, der bestaar af et cylindrisk Rør, som i den ene Ende har et lille fladt Rum, der er begrænset af en mat Glasplade udadtil og en gennemsigtig ind imod Røret, og som indeholder farvede Glasstumper, smaa Glasrør med Vædske o. desl.; i Rørets anden Ende er der et lille Hul, hvortil man kan holde Øjet, og i Rørets Indre findes to Spejle med Sammenstødskanten paalangs af Røret. Holder man Øjet til

det nævnte Hul og ser ind i Rummet mellem Spejlene, ser man et smukt, symmetrisk Billede, dannet af Genstandene og deres symmetrisk grupperede Spejlbilleder.

20. Naar et Spejl bevæges parallelt med sig selv, saa flytter Spejlbilledet af en Genstand sig et dobbelt saa stort Stykke.

A (Fig. 16) spejler sig som A_1 i Spejlet MN , hvortil dets Afstand er a ; bevæges nu Spejlet Vejen x parallelt med sig selv, bliver A 's Afstand til Spejlet $a + x$, og det nye Billede A_2 's Afstand bliver da ogsaa $a + x$; man faar altsaa $A_1A_2 = 2(a + x) \div 2a = 2x$.

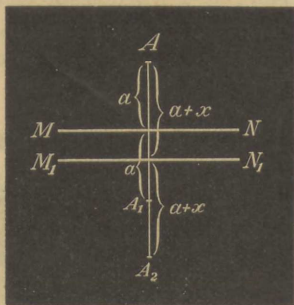


Fig. 16.

Naar et Spejl drejes en vis Vinkel omkring en Akse, der staar vinkelret paa en Straales Indfaldsplan, saa drejer den tilbagekastede Straale sig en dobbelt saa stor Vinkel.

Straalen SA træffer Spejlet MN under Vinklen i med Indfaldsloddet AI og tilbagekastes som AB . Nu drejes Spejlet Vinklen x til Stillingen M_1N_1 ; Indfaldsloddet drejes da ogsaa x til Stillingen AI_1 , saa at Indfaldsvinklen nu bliver $i + x$. Den Vinkel, som Straalen derved drejer sig, bliver $\angle BAB_1 = \angle SAB_1 \div \angle SAB = 2(i + x) \div 2i = 2x$.

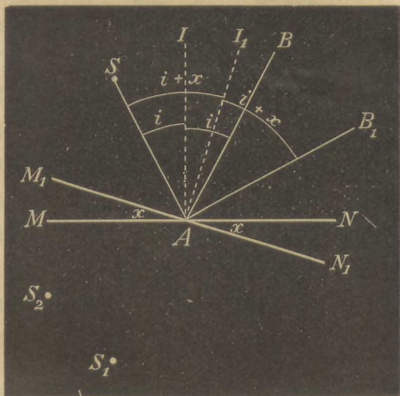


Fig. 17.

Hvis S er et Straalepunkt, saa flyttes dets Spejlbillede ved Spejlets Drejning fra S_1 til S_2 , idet det beskriver en Cirkel om A som Centrum og med Afstanden AS som Radius.

21. Heliostaten er et Instrument, der tjener til at sende Sollyset i en bestemt Retning trods det, at Solen flytter sig paa Himlen. Man har Heliostater med eet og med to

Spejle. I de første drejes et Spejl ved en noget kombineret Mekanisme saaledes af et Urværk, at det altid tilbagekaster Sollyset, som falder paa det, i den ønskede Retning. I de simplere Heliostater med to Spejle er det ene Spejl anbragt paa en i Verdensaksens Retning stillet Akse og drejes om denne Akse »med Solen« af et Urværk een Gang rundt i 24 Timer; dette drejelige Spejl fastgøres saaledes til Aksen, at

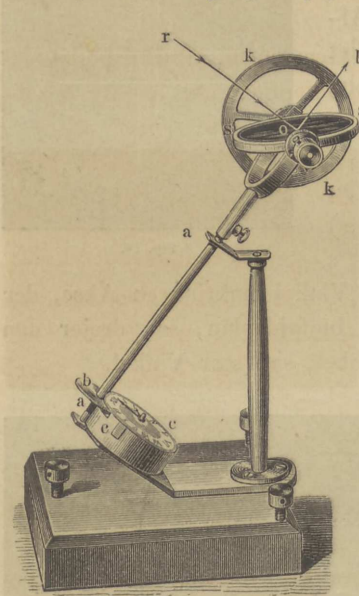


Fig. 18.

det tilbagekaster Solstraalerne i dennes Retning; og gør Spejlet dette i een Stilling, saa vil det blive ved dermed, fordi Retningen fra et Sted op til Solen i dens forskellige Stillinger i Løbet af Dagen meget nær ligge paa en Om-drejningskegleflade omkring Verdensaksen. Figuren viser en saadan Heliostat; *aa* er Aksen, som stilles i Verdens-aksens Retning; den bærer et Tandhjul *b*, som drejes af Urværket *c*; *s* er Spejlet, som fastgøres i en saadan Stilling til Aksen, at Solstraalerne (*ro*) tilbagekastes i Verdens-aksens Retning (som *op*).

Dette tilbagekastede Lys bliver nu af et andet fast, plant Spejl kastet hen i den Retning, man ønsker.

b. Kuglespejle.

22. Naar en spejlende Flade har Kugleform, kaldes den et Kuglespejl. Dette er konkavt, naar det er spejlende paa den imod Centrum vendte Side; det har da som Reglen Form af en Kuglehat og kaldes ogsaa et Hulspejl. Kuglespejlet er konvekst, naar det er spejlende paa den bort fra Centrum vendte Side; det er en Kuglehat eller en hel Kugleflade (Havekugler).

23. Hulspejlet. Spejlets Rand er i Reglen en Cirkel; dennes Diameter kaldes Spejlets Diameter. Ved Spejlets Aabning forstaas Vinklen imellem Radierne fra Kuglens Centrum til to diametralt modsatte Punkter af Spejlranden. Enhver Linie til Spejlet igennem Kuglens Centrum kaldes en Akse, og en Straale, som følger denne, en Aksestraale; er Spejlranden en Cirkel, har Hulspejlet et Midtpunkt, og Aksen igennem dette kaldes Hovedaksen.

Lad AB (Fig. 19) være et Gennemsnit af Hulspejlet, C Hulspejlets Centrum. S er et Straalepunkt, og de fra S udgaaende Straaler, som træffe Spejlet, ville tilbagekastes efter den almindelige Tilbagekastningslov. Aksestraalen SC træffer Spejlet vinkelret (i N) og tilbagekastes i sig selv. En vilkaarlig anden Straale SM tilbagekastes i Retningen MD , idet Indfaldsloddet er Radius CM , og saaledes at $\angle SMC = \angle CMD$; den tilbagekastede Straale MD overskærer Aksestraalen i Punktet F , og i dette Punkt maa alle Straaler, der udgaa fra S og ligge paa en Omdrejningskegelflade om SN som Akse, skære Aksestraalen efter Tilbagekastningen; det samme Punkt F vil, som det nu skal vises, tillige tilnærmelsesvis være Overskæringspunkt for alle tilbagekastede Straaler, som udgaa fra S , dog kun naar Spejlets Aabning er lille. F bliver altsaa et Foreningspunkt for alle fra S udgaaede Straaler.

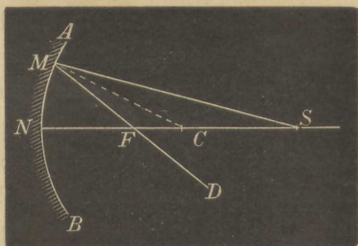


Fig. 19.

Idet MC halverer $\angle M$ i $\triangle SMF$, har man

$$\frac{SM}{FM} = \frac{SC}{CF};$$

vi kalde Afstanden SN langs Aksestraalen fra S til Spejlet for a , Foreningspunktets Afstand FN for f og Hulspejlets Radius for r ; naar Spejlets Aabning er lille, kan man tilnærmelsesvis sætte $SM = SN = a$, $FM = FN = f$ og faar altsaa

$$\frac{a}{f} = \frac{a - r}{r - f},$$

hvoraf $ar - af = fa - fr,$

og ved Division med afr

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

Denne Ligning siger os, at der til et bestemt a svarer et bestemt f for et og samme Hulspejl, hvilket skulde bevises; da a og f kunne ombyttes i Ligningen, uden at denne derved forandres, ser man endvidere, at dersom F er Straalepunkt, vil Foreningspunktet, som svarer hertil, falde i S .

Dersom man i Ligningen sætter $a = \infty$, faas $f = \frac{r}{2}$;

dette vil sige, at dersom Spejlet træffes af indbyrdes parallelle Straaler (saadanne kunne tænkes udgaaede fra et uendelig fjernt Straalepunkt), ville disse efter Tilbagekastningen overskære hverandre i det Punkt paa Aksestraalen, der ligger i en Afstand af $\frac{1}{2} r$ fra Spejlet, o: midt imellem Spejlet og dets Centrum. Et saadant Punkt kaldes Brændpunkt. Af saadanne har et Spejl altsaa egentlig uendelig mange, eet paa hver Akse, og de ligge paa en lille Del af en Kugleflade om C som Centrum med Radius $\frac{1}{2} r$; ved Hoved-Brændpunktet

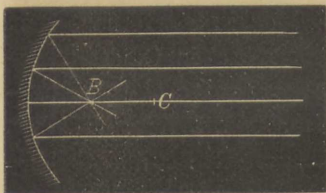


Fig. 20.

forstaas det af Brændpunkterne, som ligger paa Hovedaksen, og naar Spejlets Aabning er lille, kan man uden kendelig Fejl sige, at de andre Brændpunkter ligge paa et lille Stykke af et Plan igennem Hovedbrændpunktet vinkelret paa Hovedaksen. Naar

der i det Følgende tales om et Hulspejls Brændpunkt, er der altid underforstaaet Hovedbrændpunktet (B i Fig. 20).

Brændpunktets Afstand fra Spejlet kaldes Brændvidden og betegnes ved p ; man har da $p = \frac{1}{2} r$, og ovenstaaende Ligning kan da skrives som

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

hvoraf findes

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

Saa vel af denne Formel som og lettere af Figuren kan man se følgende:

naar Straalepunktet ligger i Spejlets Centrum, falder Foreningspunktet ogsaa i dette;

rykker Straalepunktet herfra længere bort fra Spejlet, saa vandrer Foreningspunktet fra Centret ind imod Spejlet; men naar dog først ind til Brændpunktet, naar Straalepunktet kan siges at være rykket uendelig fjernt;

flyttes Straalepunktet fra Centrum ind imod Spejlet, saa vandrer Foreningspunktet udefter fra Centrum, og

kommer Straalepunktet ind til Brændpunktet (B i Fig. 20) saa er Foreningspunktet rykket uendelig langt bort, d. v. s. de tilbagekastede Straaler ere indbyrdes parallelle;

naar endelig Straalepunktet ligger indenfor Brændpunktet (S i Fig. 21, hvor B er Brændpunktet), saa ville de fra Spejlet tilbagekastede Straaler ikke skære hverandre, men spredes bort fra hverandre; i dette Tilfælde

er $a < p$, og Udtrykket $f = \frac{ap}{a - p}$ giver en negativ Værdi

for f ; Betydningen af, at Foreningspunktets Afstand fra Spejlet er negativ, er den, at Straalereetningerne ved at forlænges bagud skære hverandre i et Punkt F , der ligger bagved Spejlet. F siges at være et indbildt eller et virtuelt Foreningspunkt for Straalerne; et Øje opfanger

Straalerne, som om de udgik fra F . Foreningspunktet er i de Tilfælde, hvor Straalepunktet ligger udenfor Brændpunktet, virkeligt eller reelt, thi der finder da en virkelig Forening af de tilbagekastede Straaler Sted.

Tænkes Lysets Vej i det i Fig. 21 viste Tilfælde vendt om, saa ser man, at naar et Hulspejl træffes af et sammenløbende Straalebundt, der har Retning imod et Punkt S bag Spejlet (Tilfældet er tegnet i Fig. 22), ville de tilbagekastede Straaler mødes i et Punkt F foran

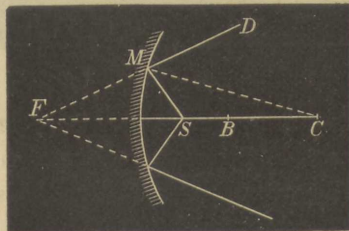


Fig. 21.

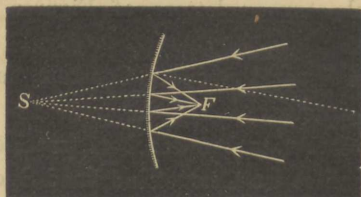


Fig. 22.

Spejlet og indenfor dettes Brændpunkt; dette kunde ogsaa udledes direkte af Formlen, idet man da gør a negativ, hvilket giver f positiv og mindre end p .

24. Billeder i Hulspejle. Naar der foran et Hulspejl befinder sig en Genstand, kan man finde Billedet heraf ved at finde Foreningspunkterne, som svare til Genstandens forskellige Punkter. Billedet er Samlingen af disse Foreningspunkter.

I Fig. 23 er CP Hovedaksen, B Brændpunktet paa denne. M er et Straalepunkt udenfor Hovedaksen, og Billedet af M

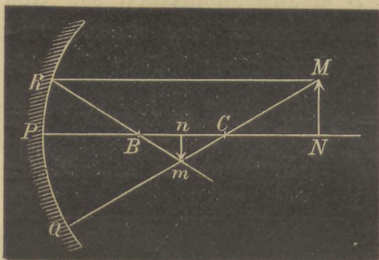


Fig. 23.

konstrueres da lettest ved Hjælp af to af følgende tre Straaler: Aksestraalen MQ , som tilbagekastes i sig selv, Straalen MR parallel med Hovedaksen, hvilken Straale tilbagekastes igennem B , og en Straale fra M , som gaar igennem B , hvilken Straale tilbagekastes fra Spejlet pa-

rallelt med Hovedaksen (ikke tegnet i Figuren). De tilbagekastede Straaler overskære hinanden i m , og her ville ogsaa alle andre Straaler fra M , som træffe Spejlet, mødes efter Tilbagekastningen.

Vi kunne vise, at Punkter i et og samme Plan vinkelret paa Aksen tilnærmelsesvis have deres Foreningspunkter i et andet Plan vinkelret paa Aksen: N og n være Fodpunkter for M og m , og N og n antages at have de respektive Afstande a og f fra Spejlet; en Perpendikulær fra R paa Aksen træffer denne meget nær i P ; man har da af lignedannede Trekanter

$$\frac{MN}{mn} = \frac{CN}{Cn} = \frac{a - 2p}{2p - f}$$

og

$$\frac{RP (= MN)}{mn} = \frac{PB}{Bn} = \frac{p}{f - p},$$

altsaa

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

som giver

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

da alle Punkter i et Plan vinkelret paa en Linie have samme Fodpunkt paa denne, viser denne Ligning os Rigtigheden af den Sætning, som det gjaldt om at bevise. — M 's Fodpunkt N paa Hovedaksen har sit Foreningspunkt i m 's Fodpunkt n paa Aksen, og den rette Linie MN har altsaa det omvendte Billede mn . Brøken $\frac{mn}{MN}$ er Forholdet imellem Billedes og Genstands liniære Udstrækning; man har for dette Forhold

$$\frac{mn}{MN} = \frac{f-p}{p} = \frac{p}{a-p}.$$

Man faar heraf:

- Billedet er mindre end Genstanden ($mn < MN$), naar $p < a - p$, $a > 2p$, og naar Genstanden ligger udenfor Centrum.
- Billedet er ligestort med Genstanden, naar $a = 2p$, og naar Genstanden gaar igennem Centrum; Billedet gaar da ifølge 23 ogsaa igennem Centrum, men det er omvendt; Tilfældet er vist i Fig. 24.
- Billedet er større end Genstanden ($mn > MN$), naar $a < 2p$, og naar Genstanden ligger indenfor Centrum.

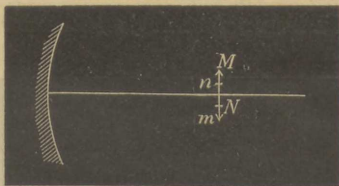


Fig. 24.

I dette sidste af de tre nævnte Tilfælde kan Genstanden have de tre følgende Stillinger:

- Genstanden er imellem Centrum og Brændpunktet; Tilfældet er afbildet i Fig. 23, naar man tænker sig mn som Genstand; MN er da Billedet. Billedet er omvendt, forstørret og virkeligt.
- Genstanden er paa Brændpunktets Plads; da er $a = p$, som giver $\frac{mn}{MN} = \infty$; man faar altsaa af Formlerne et

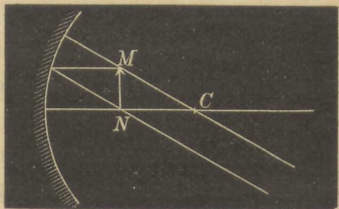


Fig. 25.

uendelig stort og et uendelig fjernt (23) Billede, d. v. s. intet Billede. Fig. 25 viser ogsaa, hvorledes alle Straaler fra samme Punkt (M) paa Genstanden forlade Spejlet i indbyrdes parallelle Retninger.

3. Genstanden ligger indenfor Brændpunktet; da er $a < p$

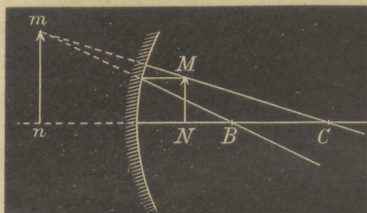


Fig. 26.

og Forholdet mn : MN faar en negativ Værdi, hvis numeriske Værdi er større end 1. Dette betyder, at man faar et indbildt, forstørret Billede; Billedet er endvidere opret (Fig. 26). — Billedet er i

dette Tilfælde af samme Beskaffenhed som de Billeder, der dannes af plane Spejle.

25. Meget fjerne Genstande afbildes i Brændplanet; af Solen og Maanen danner et Hulspejl smaa cirkelrunde Billeder i Brændplanet. Disse Billeders Størrelse bestemmes bekvemmelig

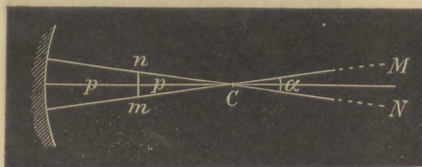


Fig. 27.

ved Hjælp af den Synsvinkel, under hvilken de ses. Hvis CM og CN (Fig. 27) ere Retningerne ud til to diametralt modsatte Punkter af Sol- eller Maaneranden, saa

er Linien mn , der gaar igennem Brændpunktet, Diameter i Billedet, og man faar, naar Himmelleget ses under Synsvinklen α ,

$$mn = 2p \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = p \operatorname{tg} \alpha,$$

idet Synsvinklen er meget lille; den er baade for Sol og for Maane godt $\frac{1}{2}^\circ$, og da $\operatorname{tg} \frac{1}{2}^\circ$ er meget nær $\frac{1}{100}$, faas $mn = \frac{1}{100} p$. — I et Hulspejl med 15 Meters Brændvidde, og saadanne har man anvendt, bliver Diametren af Sol- og Maanebilledet altsaa cr. 15 cm.

26. Naar Genstanden er udenfor Hulspejlets Brændpunkt, dannes der altsaa et virkeligt Billede, og et Øje, som rettes imod dettes Plads, synes altsaa at se Genstanden her svævende

i Rummet foran Spejlet. Da Billedet af et Punkt paa Genstanden imidlertid er dannet ved Straaler, som tilbagekastes fra Spejlet, og som krydse hverandre i det tilsvarende Foreningspunkt og derfra gaa videre ud i Rummet, saa maa Øjet, for

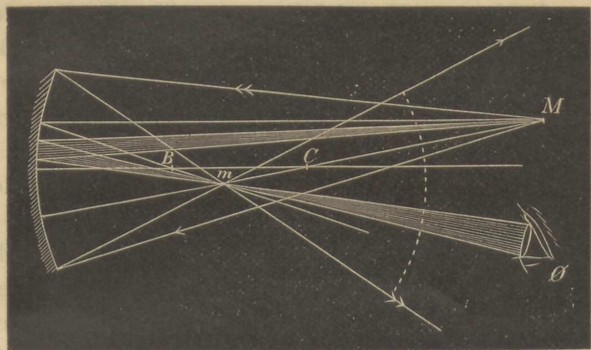


Fig. 28.

at man kan se Billedet, holdes saaledes, at det træffes af disse Straaler, der fra Foreningspunktet gaa videre ud i Rummet. Øjet maa derfor befinde sig indenfor det andet Net (markeret paa Fig. 28 ved en punkteret Cirkelbue) til en Kegleflade, hvis Toppunkt er Billedpunktet (m), og hvis Ledelinie er Spejlets Rand. I Figuren er markeret det Straalebundt fra M , der trænger ind i Øjet $\emptyset$.

Man kan dog ogsaa faa Billedet at se fra alle Sider, dersom man holder en lille, hvid Skærm paa det Sted, hvor Billedet dannes; der kommer da paa Skærmen en Lysplet af Genstandens Form, og dette Billede kan ses paa Grund af den spredte Tilbagekastning fra Skærmen. Ved at flytte Genstanden i Forhold til Spejlet og flytte Skærmen efter saaledes, at der paa denne altid dannes et skarpt Billede af Genstanden, kan man let godtgøre Rigtigheden af, hvad der i det Foregaaende er sagt baade om Billedets Plads i Forhold til Genstandens Plads og om dets Størrelse i Forhold til Genstandens Størrelse; tillige kan man ved at udmaale Genstands og Billedes Afstande fra Spejlet, henholdsvis a og f , godtgøre Rigtigheden

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

27. Den sfæriske Afvigelse (Aberration). Vi have set, at alle fra et Punkt udgaaende Straaler kun tilnærmelsesvis ville krydse hverandre i samme Punkt efter Tilbagekastningen; det kan kun siges at ske, naar Spejlets Aabning er meget lille. Er dette nu ikke Tilfældet, kommer der en Afvigelse; betragtes f. Eks. et Punkt paa Hovedaksen, saa ville alle Straaler tæt op til denne (Centralstraalerne) efter Tilbagekastningen krydse hverandre i eet Punkt, men de fjernere Straaler ville efter Tilbagekastningen skære Hovedaksen i Punkter, der fjerne sig desto mere fra Centralstraalernes Foreningspunkt, jo større Vinkel de danne med Aksen. Deraf følger, at Billederne i saadanne Hulspejle ikke ere skarpe.

Vi ville betragte den sfæriske Afvigelse for det Tilfælde, at Straalerne komme parallelle med Hovedaksen; kun Centralstraalerne ville da efter Tilbagekastningen skære hverandre i Brændpunktet; betragte vi derimod en fjernere Straale SM parallel med Aksen, træffende Spejlet under Indfaldsvinklen i ,

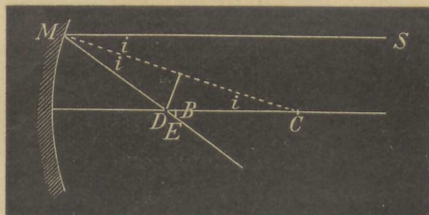


Fig. 29.

saa overskærer den tilbagekastede Straale Hovedaksen i et Punkt D , der ligger lidt indenfor Brændpunktet B , og BD kaldes Længdeafvigelsen, l ; oprejses i B en Linie i samme Plan vinkelret paa Hovedaksen, skærende den tilbagekastede Straale i E , kaldes BE Sideafvigelsen, s . For disse to Størrelser finder man et Udtryk saaledes: $\triangle MDC$ er ligebenet, da Vinklerne ved Grundlinien MC ere ligestore; en Perpendikulær paa CM fra D halverer $CM = 2p$, og man faar

$$\cos i = \frac{p}{DC} = \frac{p}{l + p}, \text{ hvoraf } l = \frac{p(1 - \cos i)}{\cos i}.$$

Dernæst faas af $\triangle DBE$

$$BE = BD \operatorname{tg} \angle BDE \text{ eller } s = l \operatorname{tg} 2i.$$

Af de for l og s fundne Udtryk ser man, at de — navnlig s — vokse med i , altsaa med Straalens Afstand fra Hovedaksen.

Betragtes Straalerne i samme Plan igennem Hovedaksen, ville de konsekutive Foreningspunkter imellem de tilbagekastede Straaler danne en krum Linie, Brændlinien, med to Dele, der løbe sammen i Brændpunktet og ere symmetriske med Hensyn til Hovedaksen. Den ses, naar man lægger en indvendig glat Ring paa et hvidt Papir i Solskin; svagt paa Overfladen af Mælk, der fylder et Glas næsten helt op til Randen o. s. v. — Tage vi alle Straaler fra et almindeligt Hulspejl med, faas en Brændflade, som er en Omdrejningsflade,

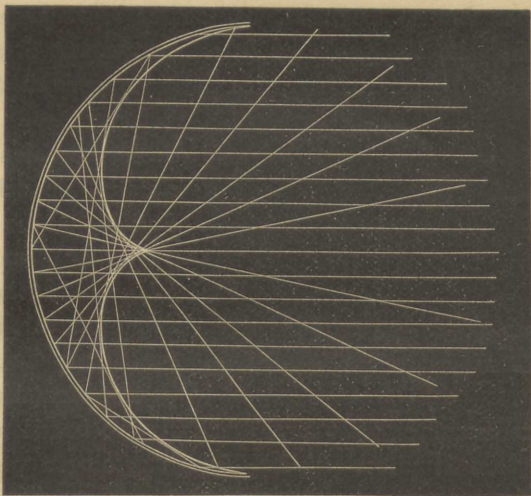


Fig. 30.

fremkommen ved Omdrejning af Brændlinien om Hovedaksen. Brændlinie og Brændflade ere meget lyse, hvilket ogsaa, om end i mindre Grad, gælder Rummet imellem dem og Spejlet paa Grund af de mange Skæringspunkter imellem Straalerne.

Den sfæriske Afvigelse bortfalder, naar man benytter paraboliske Hulspejle i Stedet for kugleformige; træffes et saadant parabolisk Spejl af Straaler, der komme parallelt med Aksen, mødes de efter Tilbagekastningen nøjagtig i Brændpunktet, fordi en Parabel har den Egenskab, at en Linie fra Brændpunktet til et Punkt af Parablen og en Linie herfra parallel med Aksen danne ligestore Vinkler med Tangenten til det paagældende Punkt af Parablen og altsaa ogsaa med Normalen

dertil. Anbringes et Straalepunkt i det parabolske Spejls Brændpunkt, ville alle Straaler herfra efter Tilbagekastningen gaa nøjagtig parallelt med Aksen.

28. Hulspejle anvendes til Frembringelsen af Billeder som f. Eks. i Spejlkikkerter, i hvilke et stort Hulspejl danner Billeder af fjerne Genstande (Himmellegemer), hvilke Billeder saa betragtes igennem en Lupe; endvidere til Spejlfyr, idet en Lampeflamme anbringes i Spejlets Brændpunkt; i Vognlygter og Butikslamper.

29. Konvekse Kuglespejle. Er et konvekst Kuglespejl formet som en Kuglehat, har det en Hovedakse: Linien igennem Spejlets Midtpunkt og dets Centrum. Et Straalepunkt

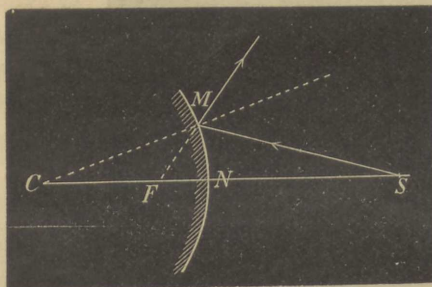


Fig. 31.

S sender en Straale i Retning mod Centrum *C*, Aksestraalen, hvilken Straale tilbagekastes af Spejlet (i *N*) i sig selv; en anden Straale *SM* vil efter Tilbagekastningen spredes bort fra Aksen; forlænges den bagud, skærer den Aksen i *F*.

F vil være Skæringspunkt for Forlængelserne bagud af alle de tilbagekastede Straaler, der før Tilbagekastningen vare Frembringere i en Omdrejningskeglefflade om Aksen med *S* som Toppunkt, og som det skal vises, tilnærmelsesvis — naar Spejlets Aabning er lille — Overskæringspunkt for alle tilbagekastede, fra *S* udgaaede Straalers Retninger.

I $\triangle FMS$ er Nabovinklen til $\angle M$ halveret af Radius *CM*, og man har derfor

$$\frac{CF}{CS} = \frac{FM}{MS};$$

sættes nu $SM = SN = a$, $FM = FN = f$ og Radius til Spejlet lig *r*, har man

$$\frac{r-f}{a+f} = \frac{f}{a},$$

hvoraf

$$ar - af = fa + fr,$$

ved Division med af : $\frac{1}{a} - \frac{1}{f} = -\frac{2}{r}.$

Til $a = \infty$, α : parallelt indfaldende Straaler, svarer der ligesom tidligere en Stilling af F , som kaldes Brændpunktet, og for hvilket f kaldes p ; Ligningen giver i dette Tilfælde

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

Indføres p i Stedet for r i Ligningen, faas

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

hvoraf

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

F er et indbildt Forenings- eller Billedpunkt til S ; dets Beliggenhed afhænger foruden af Spejlets Radius kun af a .

Man ser af Formlerne, at et konvekst Hulspejl kan betragtes som et Hulspejl med negativ Brændvidde eller Radius (ved at tænke sig Hulspejlet krænget om, saaledes at den spejlende Flade kommer yderst, flyttes Centrum over paa den modsatte Side), og at alle Straalepunkter foran Spejlet have indbildte Foreningspunkter (det f , som indgaar i Formlen for det konvekse Spejl, og som betegner Afstanden fra Spejlet til det indbildte Foreningspunkt, er nemlig da altid positivt; hvis dette f blev negativt, vilde det betyde, at Foreningspunktet blev virkeligt).

30. Billeder i konvekse Kuglespejle. Fig. 32 forestiller et konvekst Spejl med Centrum C , Hovedaksen CN og Brændpunktet B . Af et Punkt M paa en

Genstand dannes Billedet lettest ved at tegne Aksestraalen, der er rettet imod Centrum og tilbagekastes i sig selv, og en Straale parallel med Hovedaksen,

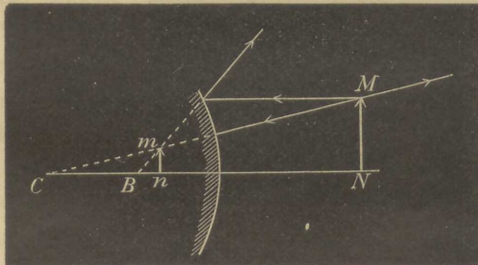


Fig. 32.

hvilken Straale tilbagekastes, som om den kom fra B . Disse to Straaler give det indbildte Foreningspunkt m ; alle fra M udgaaende og Spejlet rammende Straaler tilbagekastes, som om de kom fra m ; et Øje, der holdes i dette Straalebundt, der altsaa er begrænset af en Kegleflade med Toppunkt i m og

Spejlranden til Ledelinie, vil i m se et Billede af M . M 's Fodpunkt N paa Hovedaksen har sit Billede i m 's Fodpunkt n . Billederne blive indbildte, oprette og formindskede.

c. Cylindriske Spejle.

31. Et cylinderformet Spejl kan ligesom Kuglespejlet være konkavt og konvekst. Billeddannelsen i et saadant Spejl forstaas lettest, naar det bemærkes, at det kan opfattes som et plant Spejl i Retning af Aksen og som et Kuglespejl tværs paa Aksen; et Snit igennem Aksen skærer Cylinderspejlet i en ret Linie, ligesom et plant Snit skærer et plant Spejl i en ret Linie, og et Snit vinkelret paa Aksen skærer Cylinderspejlet i en Cirkellinie, ligesom et Snit igennem et Kuglespejl gør. Altsaa vil en Genstands Dimension langs Aksen ikke blive forandret ved Spejlingen, derimod som Regel Dimensionen tværs paa Aksen, og det efter lignende Love som dem, der gælde for Kuglespejle.

IV. Lysets Brydning (Refraktion).

32. Brydningsloven. Naar en Lysstraale gaar fra et gennemsigtigt Legeme over i et andet, vil den som Regel forandre sin Retning og siges da at være brudt.

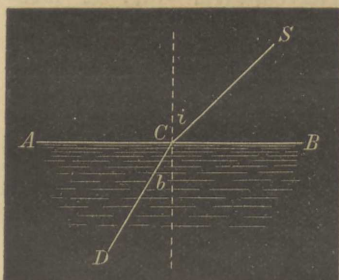


Fig. 33.

Lad AB (Fig. 33) være Overfladen af Vand; en Lysstraale SC , som træffer Vandfladen i C , vil da dels blive tilbagekastet efter de Love, som tidligere ere nævnte, og dels blive brudt, saaledes at Lyset forplanter sig videre i en Retning CD , som danner en mindre Vinkel med Indfaldsloddet, end

SC gør. — Kommer der en Lysstraale nede fra Vandet i Retningen DC , vil den blive brudt ud i Lüften i Retningen CS , altsaa fjerne sig fra Indfaldsloddet.

Denne Retningsforandring, denne Brydning, sker efter følgende to Love:

1. Den indfaldende og den brudte Straale ligge paa modsatte Sider af og i Plan med Indfaldsloddet

til det Punkt af de to Legemers Grænseflade, hvor Overgangen finder Sted;

2. der er — for de samme to Legemer og for Lys af en og samme Farve — et konstant Forhold imellem Sinus til den indfaldende Straales Vinkel med Indfaldsloddet og Sinus til den brudte Straales Vinkel dermed; den første af disse to Vinkler kaldes Indfaldsvinklen, den sidste Brydningsvinklen, og Forholdet imellem disse to Vinklers Sinus kaldes Brydningsforholdet; betegnes dette med n , har man altsaa

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

Brydningsforholdet er alene afhængigt af de to Legemers og af Lysets Beskaffenhed, men altsaa ikke af Indfaldsvinklens Størrelse; den Indflydelse, som Lysets Beskaffenhed (Farve) har, vil blive omtalt i et følgende Afsnit og forbigaaes foreløbig.

Træffer Lysstraalen vinkelret paa Grænsefladen, finder der ingen Brydning Sted.

Naar Lyset ved Overgang fra det ene Legeme til det andet nærmer sig til Indfaldsloddet, siges det sidste Legeme at være stærkere brydende end det første; naar Lysstraalen derimod ved Overgangen fjerner sig fra Indfaldsloddet, er det sidste Legeme, hvori Lyset træder ind, svagere brydende end det Legeme, hvorfra det kommer.

Hvilket der nu finder Sted, det beror paa den Hastighed, med hvilken Lyset forplanter sig i Legemerne; jo mindre Lysets Hastighed i et Legeme er, desto stærkere brydende er dette.

Naar Brydningsforholdet ved Lysets Overgang fra et Legeme til et andet er n , saa er Brydningsforholdet, naar Lyset gaar den omvendte Vej, $\frac{1}{n}$.

Ved et Legemes absolute Brydningsforhold forstaar man Brydningsforholdet, naar Lyset gaar fra det tomme Rum ind i Legemet; der er dog ingen synderlig Forskel paa, om Lyset kommer fra det tomme Rum eller fra Atmosfæren.

Brydningsforholdet er for Vand cr. $\frac{4}{3}$, Glas $\frac{3}{2}$, Diamant $\frac{5}{2}$ o. s. v.; at det f. Eks. er $\frac{4}{3}$ for Vand, hænger sammen med, at Lysets Hastighed i Vand er $\frac{3}{4}$ af Lysets Hastighed i det tomme Rum, o. s. fr.

33. Brydningslovens Rigtighed kan godtgøres ved Hjælp af et Apparat, som det i Fig. 34 afbildede. Det bestaar af et

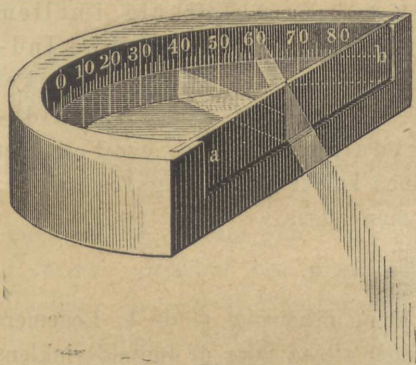


Fig. 34.

halvcirkelformet Kar, der ved *ab* er lukket med en plan Glasplade, som er malet sort undtagen paa Midten langs en smal, lodret Stribe, som er holdt gennemsigtig; Halvcirklen har en Gradinddeling, hvis Nulpunkt ligger lige overfor Spalten. Man fylder nu Karret halvt med Vand, saaledes at dette dækker den nederste Halvdel af

Inddelingen og af Spalten, og sender Sollys i vandret Retning ind gennem Spalten; Lyset, som trænger igennem Spaltens øverste Del, gaar videre i sin oprindelige Retning, medens det Lys, der gaa igennem Spaltens nederste Del, fortsætter sin Vej i Vandet i en anden Retning end den oprindelige. Inddelingen træffes altsaa af Lyset paa to forskellige Steder, det ene over og det andet under Vandoverfladen, og man vil nu, idet man varierer det indfaldende Lys's Retning, altid finde, at der er det konstante Forhold $\frac{4}{3}$ imellem Sinus til den Vinkel, hvis Gradetal Lyset over Vandet træffer, og Sinus til den Vinkel, hvis Gradetal Lyset under Vandet træffer.

Benytter man andre Vædske end Vand, kommer man altid til den samme Lov; kun har det konstante Forhold forskellige Værdier for forskellige Vædske.

Lysets Vej igennem Vædsken kan gøres synlig, naar man udrører fine Smaapartikler i den, ligesom ogsaa Lysets Gang igennem Luften gøres synlig ved Hjælp af Røg- og Støvparkler.

34. Den fuldstændige Tilbagekastning. Naar Lyset gaar fra et mindre over i et mere brydbart Legeme, nærmer Straalen sig som nævnt til Indfaldsloddet; jo større Indfaldsvinklen er, desto større er ogsaa Brydningsvinklen, men denne sidste vokser i ringere Grad end Indfaldsvinklen, og naar Indfaldsvinklen er 90° , vil Straalen trænge ind i det mere

brydbare Legeme under en Vinkel g med Indfaldsloddet, som er mindre end 90° og bestemt af Ligningen

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin g} = n,$$

der giver

$$\sin g = \frac{1}{n}.$$

Ved Overgangen fra Luft til Vand er $n = \frac{4}{3}$, $\sin g$ altsaa $\frac{3}{4}$, hvilket giver $g = 48\frac{1}{2}^\circ$. Dette er altsaa den største Vinkel, som Lys, der trænger ned i Vand, kan danne med Indfaldsloddet nede i Vandet; alle Straaler, som træffe et Punkt af en Vandoverflade, maa derfor nede i Vandet ligge indenfor en Omdrejningskegelflade om Indfaldsloddet som Akse og med den halve Toppunktsvinkel lig $48\frac{1}{2}^\circ$. — Ved Overgang fra Luft til Glas er $g = 42^\circ$, bestemt af $\sin g = \frac{2}{3}$.

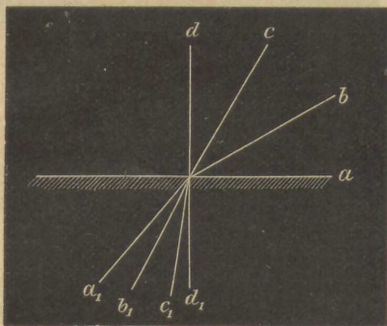


Fig. 35.

Naar omvendt en Lysstraale gaar fra et stærkere brydende Legeme over i et svagere brydende, er Brydningsvinklen større end Indfaldsvinklen, og den første vokser med den sidste og det i stærkere Grad; naar derfor Brydningsvinklen er 90° , er Indfaldsvinklen mindre, og den Værdi, denne har i dette Tilfælde, er den samme Vinkel, som nys er betegnet ved g . For at en Lysstraale skal kunne trænge fra Vand ud i Luften, maa dens Vinkel i Vandet med Indfaldsloddet højst være $48\frac{1}{2}^\circ$; for Glas i Stedet for Vand er den tilsvarende Grænse 42° .

Lad MN (Fig. 36) være en Vandoverflade, og S et Straalepunkt under denne. Straalen SA vinkelret paa Overfladen forplanter sig videre som AP i sin oprindelige Retning. Straalen SB gaar ud i Luften i en Retning BQ , der afviger mere fra Indfaldsloddet end SB , naar blot SB 's Vinkel med Indfaldsloddet er mindre end $48\frac{1}{2}^\circ$. Straalen SC antages at danne en Vinkel med Indfaldsloddet (altsaa ogsaa med SA) paa $48\frac{1}{2}^\circ$, og denne Straale vil derfor gaa ud i Luften i Retning af Vandoverfladen (CN). En Straale SD , som danner

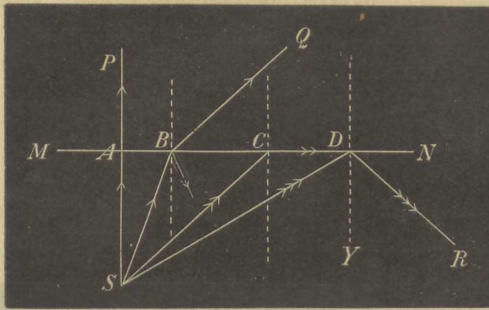


Fig. 36.

Vejen SB , idet det meste heraf bliver brudt ud i Luften, men en Del bliver tilbagekastet ned i Vandet. Man kalder af den Grund den nævnte Vinkel paa $48\frac{1}{2}^{\circ}$ for Grænsevinklen for den fuldstændige Tilbagekastning. Det er altsaa aabenbart, at alle Straaler fra S , som træffe Vandoverfladen indenfor en Cirkel med A som Centrum og AC som Radius, ville kunne trænge ud i Luften; alle Straaler udenfor blive derimod tilbagekastede. — Dersom S var et opadvendt Øje, vilde det se en lys Cirkel med Centrum lodret over sig og med Radius AC , fremkaldt ved Brydning af Dagslysets Straaler, og udenom denne Cirkel se Vandoverfladen som et Spejl, og i dette se Spejlbilleder af de Genstande, som befinde sig lidt under Overfladen. Denne Spejling af Vandoverfladen vil let kunne ses, naar man lægger en Mønt paa Bunden af et Vandglas med lidt Vand i og ser paa skraa op imod Vandoverfladen.

Den fuldstændige Tilbagekastning træder ogsaa frem ved følgende Forsøg. Ned i et Glaskar med Vand holdes et Reagensglas, hvori der er Luft; drejer man nu Glasset om,

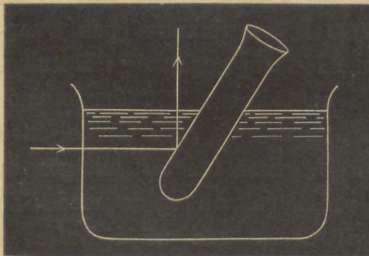


Fig. 37.

saa at det kommer i en mere og mere skraa Stilling, naas til Slut en saadan Stilling, at det Lys, som trænger vandret ind igennem Vandet og Reagensglassets Væg, ikke kan komme videre ind i Luften i Glasset, men bliver kastet fuldstændig tilbage

en endnu større Vinkel med Indfaldsloddet, vil ikke kunne trænge op i Luften, men bliver fuldstændig tilbagekastet i Retningen DR , ($\angle SDY = \angle RDY$) i Modsætning til Lyset, der følger

opefter; ovenfra set viser den Del af Røret, som er stukket ned i Vandet, sig derfor i skinnende Glans, og at Tilbagekastningen er stærkere end fra Kviksølv, kan man se ved at hælde noget heraf i Reagensglasset; den Del, som indeholder Kviksølvet, skinner da en hel Del mattere, end den Del, som er fri for Kviksølv. Hælder man Vand ned i Reagensglasset, forsvinder Glansen paa det Stykke, som indeholder Vandet, thi nu kan Lyset trænge igennem det Hele i vandret Retning.

Naar man vil have Lyset tilbagekastet fra en Flade uden at lide noget videre Lystab, benytter man et totalt reflekterende Prisme; et saadant er et Glasprisme som det, hvis Tværnsnit er afbildet i Fig. 38; Tværnsnittet er en retvinklet, ligebenet Trekant. En Lysstraale SP vinkelret paa den ene Katheteflade AB gaar med uforandret Retning over imod Hypotenusen AC , som den rammer under en Indfaldsvinkel paa 45° ; den kan derfor ikke komme ud i Luften her, men bliver fuldstændig tilbagekastet og forlader Prismet i en Retning, der er vinkelret paa den anden Katheteflade BC . Prismet har da fungeret ganske som et Spejl i Stillingen AC , og det som et Spejl, der intet Lys absorberer; smaa Lystab finder Sted, hvor Straalen gaar ind i og ud af Prismet.

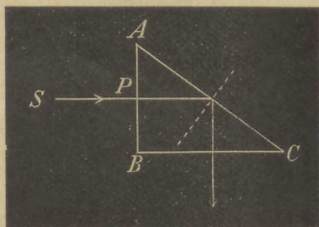


Fig. 38.

Paa den fuldstændige Tilbagekastning grunder sig Wollastons camera lucida, der benyttes til Aftegning af Genstande udenfor. Det bestaar af et Prisme, hvis Tværnsnit er en Firkant med en ret Vinkel (a), en Stump Vinkel ligeoverfor paa 135° (c) og to spidse Vinkler paa $67\frac{1}{2}^\circ$ hver (b og d). Kommer der fra en fjern Genstand en Straale omtrent vinkelret paa Fladen ab , vil den gaa ubrudt igennem denne til bc , hvorfra den (i m) fuldstændig tilbagekastes til cd (i Punktet n) og

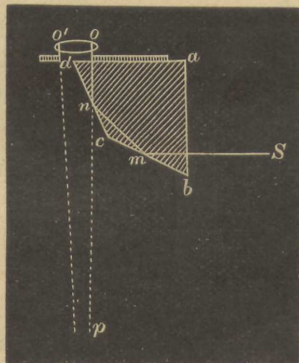


Fig. 39.

derfra igen i Retningen *no*, der omtrent er vinkelret paa *ad*. Opfanges dette Lys nu af et Øje, der holdes over Kanten *d*, vil man i Retningen *no* se et Billede af Genstanden, som udsender Lyset. Under Prismet lægges et Stykke Papir, imod hvilket Billedet viser sig, og da man igennem en Del af Øjeaabningen, som rager ud over Kanten *d*, samtidig kan se en Blyantspids, som holdes mod Papiret, kan man tegne Billedets Omrids op. En over Prismet værende Metalplade med et Hul i hjælper til at holde Øjet paa den rette Plads.

Fig. 40 forestiller et Kar med Vand, som strømmer ud

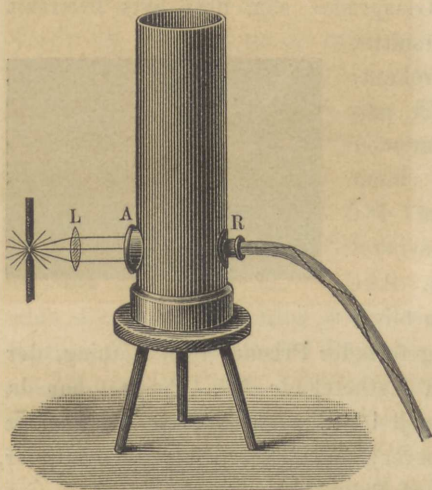


Fig. 40.

af et cirkelrundt Hul ved *R*; ligeoverfor *R* er der et andet Hul *A*, som er dækket med en Glasplade, igennem hvilken der trænger Lysstraaler ind i indbyrdes parallelle Retninger, hvilket er opnaaet ved, at en Lyskilde sender Lys imod en Linse *L*. Vandstraalen kan nu, derved at Vandet i Karret holdes i en passende Højde, faa en saadan Parabelform, at Lyset tvinges til at blive inde

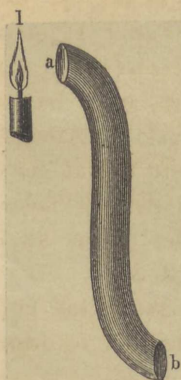


Fig. 41.

i den, idet Lyset altid træffer Straalens Overflade under saadanne Vinkler, at der finder en fuldstændig Tilbagekastning Sted. Indeholder Vandet Mængder af Smaapartikler, som kaste Lyset spredt tilbage, ser Vandstraalen ud som en Strøm af glødende, smeltet Metal; disse Partikler kaste Lyset tilbage i saadanne Retninger, at det kan træde ud igennem Vandstraalens Overflade. Dette Forhold er benyttet i lysende Vandspring. — Paa lignende Maade kan man lede Lyset igennem en krummet Glasstang; Fig. 41 forestiller en saadan, *ab*,

som i Kraft af den fuldstændige Tilbagekastning bringer Lyset fra en Flamme l hen til et andet Sted b i Værelset, uden at dette derved oplyses; Endefladerne ere planslebne og vinkelrette paa Stangen.

35. Atmosfærisk Straalebrydning. Lysstraalerne fra Himmellegerne gennemløbe det tomme Verdensrum i retlinede Baner, men naar de trænge ind i Jordens Atmosfære, lide de en lille Retningsforandring, der bevirker, at Himmelleget ses højere paa Himlen, end det i Virkeligheden er.

SA (Fig. 42) være en Lysstraale, der ved A trænger ind i Atmosfæren; denne er tættest nede ved Jorden, og derfra aftager Tætheden opefter; naar derfor Lysstraalen trænger ind i Atmosfæren paa skraa, vil den stadig gaa over fra mindre tætte til mere tætte Lag, og da Brydningsforholdet vokser med

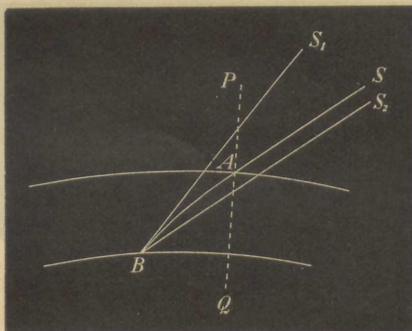


Fig. 42.

Tætheden, vil Straalen stadig nærme sig til Indfaldsloddet, den forlængede Jordradius (PQ). Lyset maa altsaa i Atmosfæren gennemløbe en svagt krummet Bane AB , og et Øje, som opfanger Lyset ved B , vil se Himmelleget i en Retning BS_1 , der er Tangent i B til den nævnte krummet Bane, altsaa se det højere paa Himlen, end det virkelig er. Idet $BS_2 \neq AS$, angiver $\angle S_2BS_1$ Flytningens Størrelse; den er i Figuren tegnet overdrevent stor. Denne Vinkel, Refraktionsvinklen, er 0, naar Himmelleget er i Zenith, og størst, naar det er i Horisonten, thi i dette Tilfælde træffe Lysstraalerne Atmosfæren mest paa skraa og have tillige den længste Vej at gennemløbe i Atmosfæren; Refraktionsvinklen er i dette Tilfælde godt $\frac{1}{2}^\circ$, men formindskes i stærk Grad opefter; den er saaledes kun $13\frac{3}{4}'$ for en Højde over Horisonten paa 30° .

Solens Diameter er jo godt $\frac{1}{2}^\circ$, og Solen ses altsaa lige over Horisonten, naar den først skal til at staa op, og naar den netop er gaaet ned. Ved Solopgang og Solnedgang synes

Solen lidt fladtrykt, fordi dens nederste Rand ved Refraktionen er hævet mere end dens øverste.

Toppen af et Bjærg ligger ikke nøjagtig i den Retning, hvori man ser den.

36. Luftspejlinger. Naar Jordskorpen, en Sandslette f. Eks., er stærkt opghed, ville de laveste Luftlag paa Grund af den høje Temperatur have en lidt mindre Tæthed end de højere liggende, og dette kan bevirke, at man ser Spejlbilleder af høje Genstande og ser den mellemliggende Slette som en

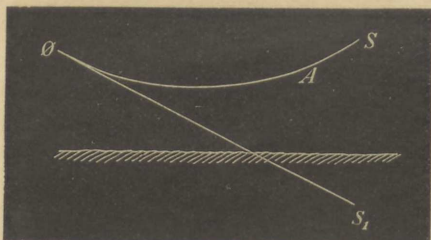


Fig. 43.

Sø. En Lysstraale SA , der vandrer skraat nedad, vil nemlig brydes bort fra Indfaldsloddet og vil derved gennemløbe en Bue som den paa Figuren viste; sluttelig vil der finde en fuldstændig Tilbagekastning Sted, og nu gennemløber Lyset en lignende Bue opad igennem Luften; et Øje O , der opfanger dette Lys, vil se Straalepunktet S , som om det befandt sig i S_1 , idet OS_1 er den Retning, hvori Øjet modtager Lyset. — Ved en pludselig Afkøling af Luften over et forholdsvis varmt Vand, optræder Fænomenet ogsaa.

Naar omvendt Jorden eller Havet er meget koldt i Forhold

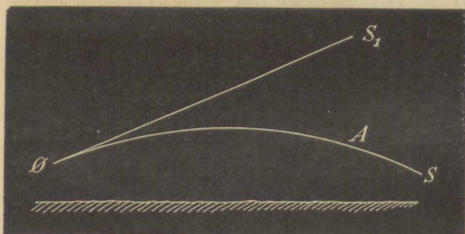


Fig. 44.

til Luften, saa at Luftens Tæthed aftager rask opefter, ville Lysstråler fra en Genstand S nede ved Jorden eller Havet kunne gennemløbe en lignende Bane SAO , der vender den kon-

kave Side nedad, og man vil da kunne se Spejlinger oppe i Luften (Fata Morgana).

37. Konstruktion af den brudte Straale. Paa flere forskellige Maader kan man konstruere Retningen af den brudte Straale, naar Brydningsforholdet er bekendt; en af disse

Konstruktioner er følgende. Fladen MN tænkes truffet i A af Straalen SA . Om A tegnes en Cirkel med vilkaarlig Radius; fra Straalens Skæringspunkt B med denne Cirkel tegnes Linien B vinkelret paa Indfaldsloddet til Punktet A ; fra A afsættes tværs paa Indfaldsloddet et Stykke $AD = \frac{BC}{n}$ til den

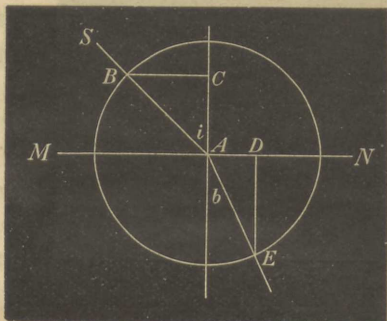


Fig. 45.

modsatte Side, idet n er Brydningsforholdet ved Lysets Overgang fra det øverste til det nederste Legeme; n er i Figuren tænkt større end 1. Fra D drages en Linie parallel med Indfaldsloddet, og naar denne Linie skærer Cirklen i E , bliver AE Retningen af den brutte Straale. Man har nemlig

$$\sin i = \frac{BC}{AB}, \quad \sin b = \frac{AD}{AE} \quad \text{og} \quad AB = AE;$$

dette giver
$$\frac{\sin i}{\sin b} = \frac{BC}{AD} = n.$$

Dersom $n < 1$, altsaa dersom Lyset søger at gaa fra et mere over til et mindre brydbart Legeme, saa bliver AD større end BC og det vil da kunne hændes, at AD ogsaa bliver større end Cirkelns Radius; i saa Tilfælde er Brydning umulig, og der finder en fuldstændig Tilbagekastning Sted. Grænsen for denne naar man, hvis AD netop bliver lig Cirkelns Radius; da vil Lyset langs SA brydes ind i det andet Legeme langs AD , og tværs paa Indfaldsloddet; man har i saa Fald

$$\sin i = \frac{BC}{AB} = \frac{BC}{AD} = n,$$

stemmende med hvad der ovenfor er udviklet; kommer Lyset fra Glas til Luft, er $n = \frac{2}{3}$, og Indfaldsvinklens Grænse er da den Vinkel, hvis Sinus er $\frac{2}{3}$, hvilken Vinkel som nævnt før er 42° .

38. Ved Brydning gennem en plan Flade kan der fremkomme Billeder. Lad S være et Straalepunkt under Vand; Straaler, der ligge nær hinanden, ville da brydes ud i Luften

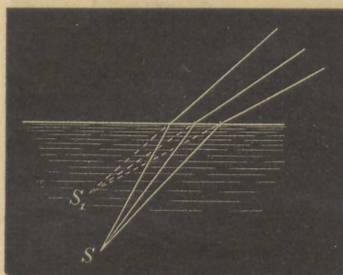


Fig. 46.

i Retninger, som om de kom fra et Punkt S_1 , der ligger højere i Vandet, end S gør, og et Øje, der opfanger Straalerne, ser da i S_1 et indbildt Billede af S . Genstande under Vand og Bunden, naar den er synlig, ses altsaa nærmere ved Overfladen, end de i Virkeligheden ere; en Stok, der er stukket skraat ned i Vand, synes at have et Knæk i Vandoverfladen. Tillige ses Genstandene under Vandet noget større, den under Vandet værende Del af Stokken noget tykkere, end de ere, og det i desto højere Grad, jo nærmere Øjet er ved Vandet; dette hidrører fra, at Synsvinklen, under hvilken Genstandene under Vandet ses, bliver større ved den formindskede Afstand til Øjet.

39. Planparallele Legemer. Naar en Lysstraale gaar igennem et Legeme, der er begrænset af to parallelle Planer, er den efter Udtrædelsen af Legemet, parallel med sin Retning før Indtrædelsen. Idet Straalens Vinkler med de to Planers Indfaldsloed ere i og i_1 udenfor Legemet, b og b_1 inde i Legemet, har man

$$\frac{\sin i}{\sin b} = n \text{ og } \frac{\sin i_1}{\sin b_1} = n;$$

da nu $b = b_1$, fordi Indfaldsloddene ere parallelle, bliver ogsaa $i = i_1$, hvorefter Sætningen følger.

Straalen lider ved Gennemgangen igennem Pladen en Forskydning til Siden, som, naar Pladens Tykkelse betegnes ved d , er

$$\frac{d}{\cos b} \sin (i - b).$$

Forskydningen vokser altsaa med Pladens Tykkelse (proportionalt) og med Indfaldsvinklen [naar i vokser, vokser ogsaa b og $i - b$; $\sin (i - b)$ vokser altsaa, $\cos b$ aftager]. — Enhver

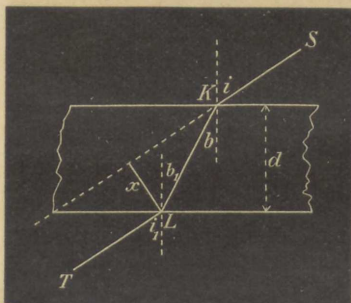


Fig. 47.

Vinduesrude fremkalder en saadant Forskydning, men da alle Genstande, der ses igennem Ruden, forskydes lidt, saa iagttaget man den kun, naar Ruden er itu, nemlig ved Hullets Rand. — Man ser desuden Genstandene lidt nærmere end de i Virkeligheden ere (Fig. 48), fordi Straalerne i Glasset blive nærmede lidt mere til hinanden.

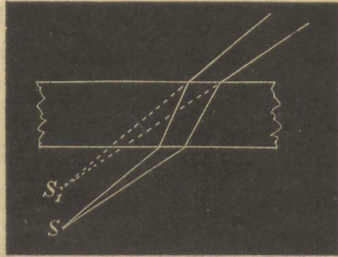


Fig. 48.

Naar en Lysstraale gaar igennem en Stabel af to eller flere Plader med planparallele Sider, gælder den nys nævnte Sætning om Parallelisme ogsaa; thi den gælder, naar Pladerne ere skilte fra hinanden uden Hensyn til den Afstand, der da er imellem dem, og gælder derfor ogsaa, naar Afstanden imellem dem formindskes til Nul. Forsøg viser ogsaa Rigtigheden heraf.

Ved Hjælp heraf kan man nu finde Brydningsforholdet ved Lysets Overgang fra eet Legeme til et andet, naar man kender disse Legemers Brydningsforhold i Forhold til Omgivelserne (eller et hvilket som helst tredie Legeme, resp. det tomme Rum); det findes at være det sidste Legemes Brydningsforhold divideret med det førstes. Paa Figuren ere

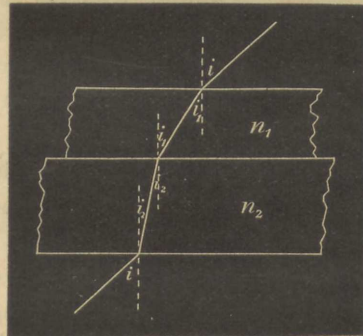


Fig. 49.

ligestore Vinkler betegnede med ens Bogstaver; Brydningsforholdene være henholdsvis n_1 og n_2 og der søges Forholdet

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2};$$

af
$$\frac{\sin i}{\sin i_1} = n_1 \text{ og } \frac{\sin i}{\sin i_2} = n_2$$

faas ved Division

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ eller } n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2.$$

Brydningsforholdet ved Lysets Overgang fra Luften til et andet Legeme er altsaa lig dette Legemes absolute Brydningsforhold divideret med Luftens absolute Brydningsforhold; da dette sidste kun er ganske lidt forskelligt fra 1 ($1,000294$ for atm. Luft ved 0^0 og 76^{cm} Tryk), fremkommer der ikke ved denne Division nogen synderlig Forandring af Brydningsforholdets Værdi.

40. Prismet. Ethvert gennemsigtigt Legeme, der er begrænset af to ikke parallelle, plane Flader, igennem hvilket Lyset træder ind og ud, er et optisk Prisme.

De plane Fladers Skæringslinie kaldes Prismets brydende Kant, Vinklen imellem dem Prismets brydende Vinkel. Et Snit vinkelret

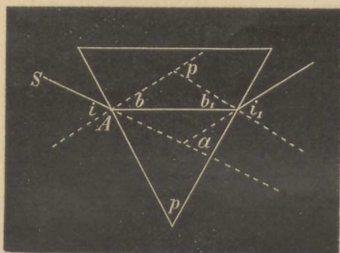


Fig. 50.

paa den brydende Kant kaldes Hovedsnittet; Fig. 50 forestillter et saadant af et tresidet Prisme, og vi betragte Gangen af en Straale SA igennem det. Straalen brydes ind i og ud af Prismet paa sædvanlig Maade; dens Vinkler med de to Fladers Indfaldslod være i og i_1 uden-

for Prismet, b og b_1 inde i Prismet; Prismets brydende Vinkel være p . Straalen lider ved Gennemgangen en Retningsforandring, bestemt ved Afvigelsen

$$a = i - b + i_1 - b_1 = i + i_1 - (b + b_1) = i + i_1 - p,$$

idet $b + b_1 = p,$

fordi Vinklen imellem Indfaldsloddene er lig Vinklen imellem Prismefladerne.

Man har endvidere

$$\frac{\sin i}{\sin b} = n \text{ og } \frac{\sin i_1}{\sin b_1} = n,$$

og derved ses det, at a , som fandtes afhængig af i , i_1 og p , er afhængig af i , n og p , altsaa for et og samme Prisme kun af i , $\therefore$ Straalens Retning i Forhold til Prismets Stilling. (Af Grunde, som senere ville blive forklarede, maa der tilføjes: saa længe man har med ensfarvet Lys at gøre).

Straaler fra S , som ligge nær hinanden, træde ud af Prismet i Retninger, som om de udgik fra et Punkt S_1 , der ligger nærmere hen ad den brydende Kant til, end S gør, og et Øje, der opfanger et saadant smalt Straalebundt, ser derfor i S_1 et Billede af S . Prismet danner altsaa indbildte Billeder, dog med noget forvrænget Form. Ved at dreje Prismet om en med

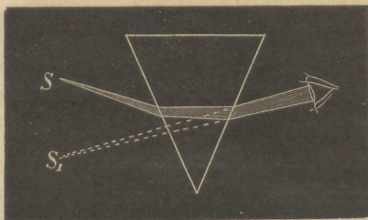


Fig. 51.

den brydende Kant parallel Akse, forandrer man i , altsaa Afvigelsen og dermed Billedets Plads. Det findes nu, at for en bestemt Stilling af Prismet er der Minimum af Afvigelse, saa at naar Prismet drejes ud fra denne Stilling enten til den ene eller til den anden Side, vil Billedet i begge Tilfælde rykke hen imod den brydende Kant og altsaa bort fra Genstandens Plads (Flytningen er umærkelig, naar Drejningen kun er lille). Denne Stilling kaldes Prismets Hovedstilling, og det lader sig godtgøre, at Lysets Brydning igennem Prismet i dette Tilfælde sker saaledes, at $i = i_1$, $b = b_1$; man faar derfor

$$a = 2i - p \text{ og } 2b = p,$$

hvoraf
$$i = \frac{a + p}{2}, \quad b = \frac{p}{2},$$

og følgelig
$$n = \frac{\sin \frac{a + p}{2}}{\sin \frac{p}{2}},$$

hvilken Formel finder Anvendelse ved Brydningsforholdets Bestemmele (86).

De Billeder, man ser igennem Prismet, ere mindst fortrukne, naar Prismet er i Hovedstillingen.

Dersom Prismets brydende Vinkel er lille, og en Straale gaar igennem Prismet under smaa Vinkler med Indfaldsloddene, har man tilnærmelsesvis

$$\frac{i}{b} = n \text{ og } \frac{i_1}{b_1} = n,$$

deraf
$$i = nb \text{ og } i_1 = nb_1,$$

saa at
$$a = nb + nb_1 - p = (n - 1)p.$$

Vi fandt ovenfor $b + b_1 = p$.

Da b og b_1 maa være mindre end Grænsevinklen for den fuldstændige Tilbagekastning, naar Lysstraalen skal kunne trænge igennem Prismets to Flader, kan den brydende Vinkel højst være det dobbelte af denne Vinkel. Den brydende Vinkel gøres dog altid en hel Del mindre; komme Straalerne f. Eks. vinkelret ind paa den ene Prismeflade, bliver $b = 0$, saa at $b_1 = p$, hvoraf ses, at p i saa Fald maa være lig eller mindre end Grænsevinklen for den fuldstændige Tilbagekastning.

V. Linser.

41. En Linse er et gennemsigtigt Legeme, der er begrænset af to Kuglehatte eller en Kuglehat og et Plan. Linserne kunne derfor have de i Fig. 52 viste 6 Former:

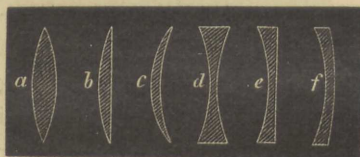


Fig. 52.

a er en dobbeltkonveks (bikonveks) Linse, b er plankonveks, c konkavkonveks, d dobbeltkonkav (bikonkav), e plankonkav og f konveksskonkav. De tre første Linser, de konvekse,

ere tykkest paa Midten, tyndest ved Randen; de have ens optiske Egenskaber og kaldes Samlelinser, fordi de tilvejebringe en Samling af Straalerne. De tre sidste Linser, de konkave, ere tyndest paa Midten; de have ogsaa ens optiske Egenskaber og kaldes Spredelinser, fordi de bringe Straalerne til at spredes stærkere.

En Linie igennem Centrene for de begrænsende Flader kaldes Linsens Akse.

42. Linseformlen. Vi ville begynde med at betragte en dobbeltkonveks Linse. C_1 er den venstre Kugleflades, C_2 den højre Kugleflades Centrum, C_1C_2 derfor Linsens Akse. Et Straalepunkt S i Aksen sender en Straale langs denne, hvilken Straale gaar ubrudt igennem Linsen, fordi den træffer begge Linseflader vinkelret; en anden Straale fra S brydes ind i den ene Kugleflade og ud af den anden efter den sædvanlige Brydningslov, idet Indfaldsløddene ere de respektive Kuglefladers

Radier til Ind- og Udtrædelsespunktet, og Brydningen sker altsaa som igennem et Prisme, hvis to Flader ere Tangent-

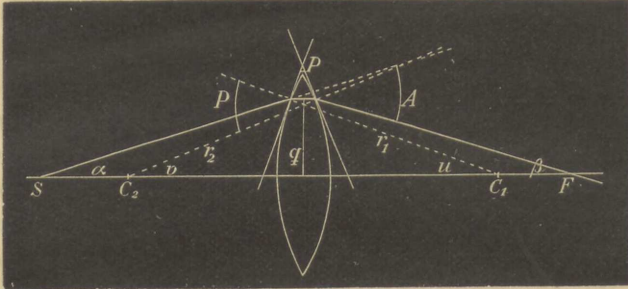


Fig. 53.

planer til disse to Punkter. Ved denne Brydning lider Straalen en Afvigelse A , for hvilken det, naar Linsen er tynd, kan tillades at benytte det nederst paa S. 45 angivne Udtryk

$$A = (n - 1) P,$$

hvor n er Brydningsforholdet, og P Vinklen imellem de to Tangentplaner og altsaa ogsaa Vinklen imellem de to Radier, der ere Indfaldslod. Straalen skærer Aksen i F , i hvilket Punkt ogsaa alle andre fra S udgaaende Straaler, som ligge paa en Omdrejningskegelflade om Aksen, ville skære denne; vi skulle nu vise, at F tilnærmelsesvis bliver Foreningspunkt for samtlige fra S udgaaede Straaler, som gaa igennem Linsen. Vi bortse fra Linsens Tykkelse. Ved Betragtning af Figuren faar man

$$A = \alpha + \beta \text{ og } P = u + v,$$

altsaa

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

Nu ere Vinklerne saa smaa, at man uden stor Fejl i Stedet for deres Sinus eller Tangens kan sætte Vinklen selv; Afstanden til Linsen fra S og fra F kaldes henholdsvis a og f , Radierne r_1 og r_2 , og idet q er en Linie vinkelret paa Aksen op til Straalen, hvor den gaar igennem Linsen, har man med stor Tilnærmelse

$$\frac{q}{a} + \frac{q}{f} = (n - 1) \left(\frac{q}{r_1} + \frac{q}{r_2} \right),$$

altsaa

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right).$$

Denne Ligning lærer, at der til en bestemt Værdi af a svarer en bestemt Værdi af f , hvilket skulde bevises; i Virkeligheden er der dog ved Linser som ved Hulspejle en sfærisk Afvigelse, som er desto større, jo tykkere Linsen er i Forhold til sin Størrelse.

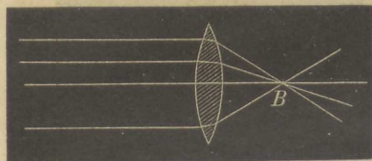


Fig. 54.

Brændpunktet er Foreningspunktet for Straaler, der komme til Linsen i Retning parallel med Aksen; dets Afstand fra Linsen, Brændvidden p , findes ved i Linseformlen at sætte $a = \infty$,

$f = p$, hvorved faas

$$\frac{1}{p} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right).$$

Brændvidden er altsaa afhængig af Linsesubstansens Brydningsforhold og Radierne, saa at man ikke af Centrernes Beliggenhed alene kan slutte sig til Brændpunktets Plads. Da p lettest findes ved Forsøg, omformes Linseformlen til

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

der giver

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

o: samme Formel som den, der gælder for Hulspejlet.

Formlen lærer os, at hvis F (Fig. 53) er et Straalepunkt, bliver S det tilhørende Foreningspunkt.

Linsen har to Brændpunkter, eet paa hver Side, i ligestore Afstande fra Linsen.

Ligger Straalepunktet i et af Brændpunkterne ($a = p$), forlade Straalerne Linsen i indbyrdes parallelle Retninger ($f = \infty$); $a = 2p$ giver $f = 2p$, saa at Straale- og Foreningspunkt ligge lige langt fra Linsen, naar Afstanden er det dobbelte af Brændvidden. Hvis Straalepunktets Afstand fra Linsen er større end den dobbelte Brændvidde, er Foreningspunktets Afstand beliggende imellem p og $2p$, og omvendt. Haves $a < p$, o: ligger Straalepunktet indenfor Brændpunktet, bliver f negativ, men af Figuren fremgaar det ogsaa, at Straalerne spredes fra

hinanden ved Gennemgangen igennem Linsen, men dette sker altsaa saaledes, at de have Retninger, som om de kom fra et Punkt F , der ligger paa samme Side af Linsen som S , men fjernere fra den.

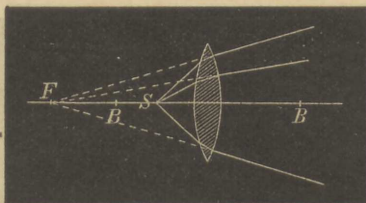


Fig. 55.

43. De andre fem Linseformer kunde man nu behandle paa samme Maade som den dobbeltkonvekse Linse, men de Resultater, man derved kommer til, ere ganske de samme, som man faar ved at anvende paa dem den for denne Linse fundne Formel og saa regne Radierne med Fortegn, efter som Centrene for de to Kugleflader ligge paa samme Maade i Forhold til Linsen eller ej. Man faar da ved at betragte Fig. 56:

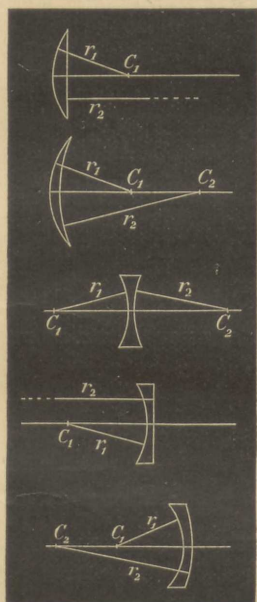


Fig. 56.

Plankonveks Linse:

$$\left. \begin{array}{l} r_1 \text{ pos.} \\ r_2 = \infty \end{array} \right\} \frac{1}{p} = (n-1) \frac{1}{r_1}; p \text{ pos.}$$

Konkavkonveks Linse:

$$\left. \begin{array}{l} r_1 \text{ pos.} \\ r_2 \text{ neg.} \\ r_1 < r_2 \end{array} \right\} \frac{1}{p} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right); p \text{ pos.}$$

Dobbeltkonkav Linse:

$$\left. \begin{array}{l} r_1 \text{ neg.} \\ r_2 \text{ neg.} \end{array} \right\} \frac{1}{p} = -(n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right); p \text{ neg.}$$

Plankonkav Linse:

$$\left. \begin{array}{l} r_1 \text{ neg.} \\ r_2 = \infty \end{array} \right\} \frac{1}{p} = -(n-1) \frac{1}{r_1}; p \text{ neg.}$$

Konveksskonkav Linse:

$$\left. \begin{array}{l} r_1 \text{ neg.} \\ r_2 \text{ pos.} \\ r_1 < r_2 \end{array} \right\} \frac{1}{p} = (n-1) \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right); p \text{ neg.}$$

De konvekse Linser have altsaa positiv Brændvidde, d. v. s. de samle de med Aksen parallelle Straaler til Brændpunktet; de tre konkave Linser have negativ Brændvidde, d. v. s. Straaler,

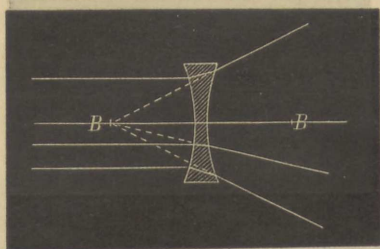


Fig. 57.

som komme til Linsen parallel med Aksen, spredes, naar de træde ud af Linsen (Fig. 57), som om de udgik fra det forreste Brændpunkt. Derfor har man kaldt de konvekse Linser for Samlelinser eller Straalesamlere, de konkave for Spredelinser eller Straale-spredere.

44. En Lenses optiske Midtpunkt. Det lader sig godtgøre, at alle Straaler, der gaa saaledes igennem en Linse, at deres Retning før Indtrædelsen er parallel med Retningen efter Udtrædelsen, skære hverandre i eet og samme Punkt i Aksen, Linsens optiske Midtpunkt. Dette vises saaledes: En Straale, der har den nævnte Egenskab, maa træde ind i og ud af Linsen i Punkter, hvis Tangentplaner ere parallelle, thi da er Straalens Gang igennem Linsen den samme, som dersom den var gaaet igennem en planparallel Plade (39), og naar disse Tangentplaner ere parallelle, saa maa ogsaa de derpaa vinkelrette Radier være parallelle. Man drager derfor to parallelle Radier, C_1M og C_2N (Fig. 58); en Straale, der træder ind ved M og gaar ud ved N (eller omvendt), og som

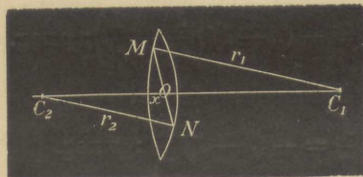


Fig. 58.

altsaa inde i Linsen følger Linien MN , har parallelle Retninger før og efter Udtrædelsen, og det skal nu godtgøres, at Skæringspunktet O imellem MN og Aksen er uafhængigt af MN 's eller de parallelle Radiers Retning. Linsens

Tykkelse være a , O 's Afstand fra den venstre Kugleflade — o ; Kuglefladen med Radius r_1 — være x ; da $\triangle C_2NO \sim \triangle C_1MO$, faas

$$\frac{C_2N}{C_2O} = \frac{C_1M}{C_1O}$$

eller

$$\frac{r_2}{r_2 - a + x} = \frac{r_1}{r_1 - x},$$

der giver

$$x = \frac{r_1}{r_1 + r_2} a;$$

da x kun er afhængig af a , r_1 og r_2 , er den konstant for een og samme Linse, hvorved Sætningen er godtgjort.

Saa vel Udtrykket for x som ogsaa Konstruktionen af det optiske Midtpunkt ved Hjælp af to parallelle Radier viser, at det optiske Midtpunkt i den dobbeltkonvekse og den dobbeltkonkave Linse ligger inde i Linsen (midt i, dersom de to Radier til Linsefladerne ere ligestore), at det i den plankonvekse og plankonkave Linse ligger i Midtpunktet af den krumme Flade, og i den konkavkonvekse og den konvekskonkave Linse ligger udenfor Linsen, hvilket sidste vil sige, at de Straaler, der i disse to Linser have den her omhandlede Egenskab om Parallelismen, have det Stykke af Straalen, der ligger inde i Linsen, rettet imod et fast Punkt lidt udenfor Linsen. Som Eksempel er i Fig. 59 taget en konvekskonkav Linse, og Midtpunktet O er konstrueret ved Hjælp af to parallelle Radier, hvis Endepunkter M og N ere forbundne med en ret Linie og denne forlænget til Skæring med Aksen. At O kommer til at ligge saaledes, som det ses at ligge, kan man ogsaa faa frem ved at sammenligne Fig. 59 med Fig. 58 og bruge Formlen, som er udledt ved Hjælp af denne sidste; man skal da regne r_2 for negativ og faar

$$x = \frac{r_1}{r_1 - r_2} a,$$

og da $r_1 > r_2$, bliver x positiv og desuden større end a , thi i Brøken $\frac{r_1}{r_1 - r_2}$ er Tælleren større end Nævneren; Afstanden fra den venstre Kugleflade til O skal altsaa regnes tilhøjre som i Fig. 59, og da den er større end Linsens Tykkelse, falder O udenfor Linsen tilhøjre.

En Straale, der gaar igennem det optiske Midtpunkt, lider altsaa ikke nogen Retningsforandring, men faar kun en Forskydning til Siden; jo tyndere Linsen er, desto mindre er

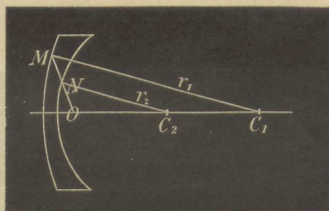


Fig. 59.

denne Forskydning, og er Linsen saa tynd, at vi kunne bortse fra Tykkelsen, gælder det tilnærmelsesvis, at en Straale, som er rettet imod en Linsens optiske Midtpunkt, gaar ubrudt igennem Linsen.

45. Straalepunktet udenfor Linsens Akse. Naar et Straalepunkt S (Fig. 60) ligger udenfor en Samlelinsens Akse, findes det tilsvarende Foreningspunkt simplest ved Hjælp af to af følgende tre Straaler: Straalen igennem det optiske Midtpunkt, hvilken gaar ubrudt igennem, Straalen parallel med Aksen, hvilken efter Brydningen gaar igennem Brændpunktet, og Straalen igennem det forreste Brændpunkt, hvilken efter Brydningen gaar parallel med Aksen. Har man med en Spredelinse at gøre, kan kun de to første Straaler benyttes, og det erindres, at Straalen parallel med Aksen ikke efter Brydningen gaar igennem Brændpunktet paa Linsens anden Side, men den brydes bort fra Aksen, som om den kom fra det forreste Brændpunkt.

I Fig. 60 er L en Samlelinse, S et Straalepunkt udenfor

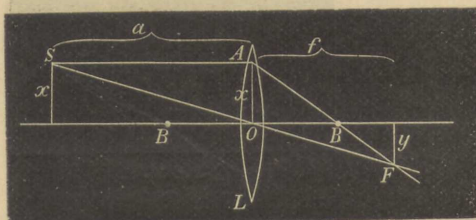


Fig. 60.

Aksen; Foreningspunktet F findes ved Hjælp af Straalerne SO igennem det optiske Midtpunkt og SA parallel med Aksen, hvilken sidste Straale efter Brydningen gaar igennem

Brændpunktet B . Nedefælder man nu fra S , A og F Perpendikulærer paa Aksen, kalder de to første for x , den sidste for y , og betegner man med a og f Afstandene fra Linsen til Fodpunkterne af Perpendikulærerne fra S og fra F , faar man ved Hjælp af ligedannede Trekanter Proportionerne

$$\frac{x}{y} = \frac{a}{f} \text{ og } \frac{x}{y} = \frac{p}{f-p},$$

hvilket giver $\frac{a}{f} = \frac{p}{f-p}$, $af - ap = fp$,

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

Da alle Punkter i et Plan vinkelret paa en Linie have samme Fodpunkt paa denne, lærer denne Ligning os, at alle Straalepunkter, som ligge i et Plan vinkelret paa Aksen have deres Foreningspunkter liggende ligeledes i et Plan vinkelret paa Aksen, og disse Planers Afstande fra Linsen tilfredsstille ovenstaaende Ligning. Kommer der saaledes Straaler til en Linse i indbyrdes parallelle Retninger, som dog ikke ere parallelle med Aksen, ville de efter Brydningen skære hverandre i et Punkt B_1 , der ligger i et Plan vinkelret paa Aksen igennem Brændpunktet, og omvendt ville Straaler, der udgaa fra B_1 , efter Brydningen være parallelle indbyrdes.

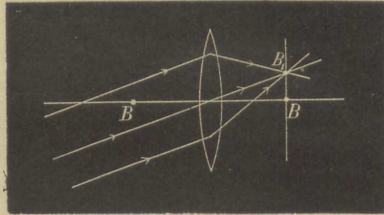


Fig. 61.

46. Billeder i Linser. Konstruktionen af Billeder i Linser er nu efter det Foregaaende meget let. Den rette Linie x i Fig. 60 har Billedet y , og Brøken $y:x$ giver altsaa Forholdet imellem Billedes og Genstands liniære Udstrækning; man har

$$\frac{y}{x} = \frac{f}{a},$$

og vil man indføre p , faas

$$\frac{y}{x} = \frac{p}{a - p}.$$

Med Hensyn til Billedets Størrelse i Forhold til Genstanden, lærer dette Udtryk os, at

Billedet er mindre end Genstanden ($y < x$), naar $p < a - p$, $a > 2p$, $\therefore$ naar Genstandens Afstand fra Linsen er større end den dobbelte Brændvidde.

Billedet er ligestort med Genstanden ($y = x$), naar $a = 2p$, $\therefore$ naar Genstandens (og Billedets) Afstand er den dobbelte Brændvidde.

Billedet er større end Genstanden ($y > x$), naar $a < 2p$, $\therefore$ naar Genstandens Afstand fra Linsen er mindre end den dobbelte Brændvidde.

Hvis Genstanden i det sidste af de tre Tilfælde tillige ligger udenfor Brændpunktet ($a > p$), faar man i alle tre Tilfælde et virkeligt og omvendt Billede.

Et Øje O , som skal kunne se Billedet F af et Punkt S paa Genstanden, maa befinde sig indenfor det andet Net til en

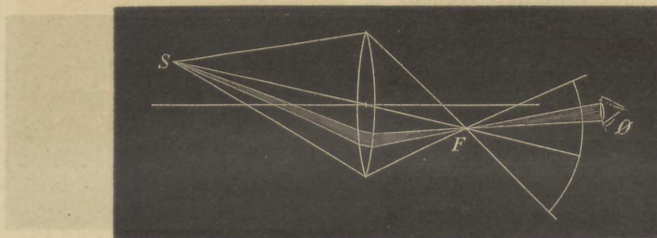


Fig. 62.

Kegleflade, hvis Toppunkt er i F , og hvis Ledelinie er Linsens Kant; i Fig. 62 er markeret det Straalebundt fra S , der træffer Øjet O . De virkelige Linsebilleder kunne imidlertid gøres synlige i alle Retninger ved at opfanges paa en hvid Skærm.

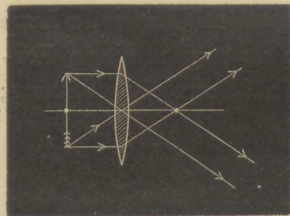


Fig. 63.

Man ser af ovenstaaende Formel endvidere, at $a = p$ giver Billedet $y = \infty$, d. v. s. der finder ingen Billeddannelse Sted, fordi alle Straaler, der udgaa fra et hvilket som helst Punkt paa Genstanden, efter Brydningen ere indbyrdes parallelle.

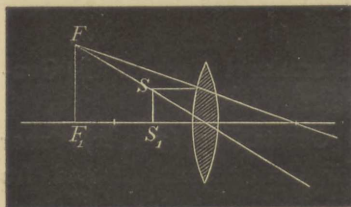


Fig. 64.

Endelig giver $a < p$ en negativ Værdi for Billedets Størrelse; dette betyder, at Billedet bliver indbildt (Fig. 64), idet Straaler fra samme Punkt paa Genstanden spredes fra hverandre efter Brydningen,

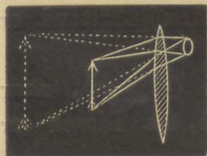


Fig. 65.

som om de udgik fra et Punkt foran Linsen. Billedet bliver tillige opret og forstørret. Fig. 65 viser Gangen af de Straaler, som fra Endepunkterne af en Genstand (den optrukne Pil) træde ind i et Øje bag Linsen.

Befinder en Genstand sig foran en Spredelinse, bliver dens Billede altid indbildt, opret og formindsket. Fig. 66 viser,

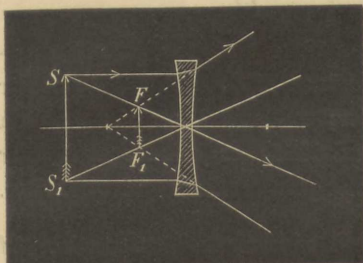


Fig. 66.

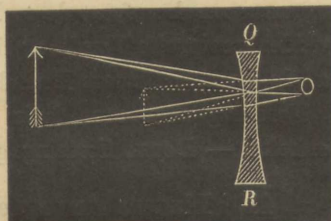


Fig. 67.

hvorledes Billedet (FF_1) af en Genstand (SS_1) konstrueres. Fig. 67 viser Gangen af Straalerne, der træde ind i Øjet bag Linsen; Genstanden er den optrukne, Billedet den punkterede Pil.

47. Sammensatte Linser. Anbringes to tynde Linser tæt op til hinanden med fælles Akse, kan man let finde, hvorledes de i Forening virke. Linserne L og L_1 have de

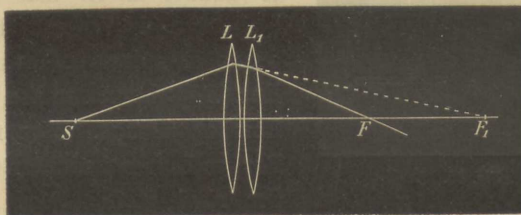


Fig. 68.

respektive Brændvidder p og p_1 . Vi tænke os i Aksen et Straalepunkt S foran Linsen L ; var L_1 der ikke, vilde L danne et Foreningspunkt F_1 , og kaldes Afstandene fra Linsen til S og F_1 henholdsvis a og f_1 , har man

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{p}.$$

Tilstedeværelsen af den anden Linse L_1 bevirker imidlertid, at Foreningspunktet falder i et Punkt F i Afstanden f fra Linsen; tænkte man sig F som Straalepunkt og L_1 som den eneste tilstedeværende Linse, vilde F_1 blive det indbildte Foreningspunkt, og man har altsaa

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1}.$$

Adderes disse to Ligninger, faas

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{P},$$

og man ser heraf, at de to Linser virke som een, hvis Brændviddes reciproke Værdi er lig Summen af de reciproke Værdier af de enkelte Linsers Brændvidder; to Samlelinser virke altsaa

Forening som een, hvis Brændvidde er mindre end hver enkelt. — Denne Sætning gælder ogsaa for flere end to Linser.

48. Linsers Anvendelse. De vigtigste Anvendelser af Linser haves i Mikroskoper og Kikkerter, som ville blive beskrevne i et senere Afsnit. Her skal nævnes et Par andre Anvendelser.

Camera obscura. Dette tjener til inde i et mørkt Rum at danne skarpe Billeder af Genstande udenfor og bestaar

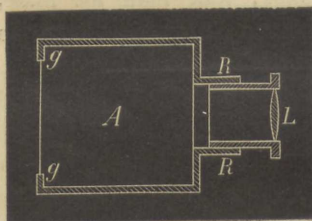


Fig. 69.

af en indvendig sværtet Trækasse (A, Fig. 69), hvis ene Væg dog er dannet af en mat Glasplade (gg), og i Væggen ligeoverfor denne er indsat en Linse (L) i et Rør (RR), hvori den kan forskydes frem og tilbage. Man retter ved Brugen Linsen imod den Genstand, der skal afbildes, og forskyder

Linsen, indtil man paa Glaspladen ser et skarpt Billede af Genstanden. Apparatet bruges i Fotografien.

Vil man aftegne Genstanden, maa man helst have Billedet dannet paa en vandret Flade; for at opnaa dette, forsynes

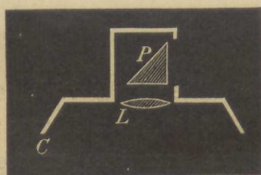


Fig. 70.

Cameraet med et Rør foroven i Stedet for paa en Sidevæg; dette Rør har en Aabning ud til Siden og indenfor denne sidder paa den Maade, som ses i Fig. 70, et retvinklet Refleksionsprisme P, som kaster det Lys, der trænger ind igennem Aabningen, ned-

efter i Kassen, og under P findes Linsen L, som danner Billedet. Prismet og Linsen kunne erstattes af et Prisme, hvis Kathetflader ere krumme i Stedet for plane.

Linsefyr. Ved disse gælder det om at faa en saa stor Del som mulig af Lyset fra en Lampe sendt ud i en bestemt Retning. Det bestaar af en Lampe, som er anbragt i Brændpunktet for en stor, lodret stillet Linse; alle Straaler fra Lampen, som træffe Linsen, ville da forlade denne i vandrette, parallelle Retninger. Men da store Linser maa gøres tykke, og dette medfører, at den sfæriske Afvigelse bliver stor, saa at de i det Foregaaende udviklede Linseformler ikke gælde, saa bygges Linsen som en plankonveks Linse *A* i Midten, omgivet af Linseringe, der ere plane paa den mod Lyset vendte Side og udadtil have saadanne Krumninger, at de have fælles Brændpunkt. Dette er Fresnel's Polyzonallinse. For ogsaa at faa Nytte af en Del af det Lys, der gaar udenom Linsen, er denne omgivet af Spejle, der ere stillede saaledes, at de kaste Lyset ud parallelt med Straalerne, der ere brudte igennem Linsen. Ved at anbringe saadanne Linser rundt omkring Flammen, faar man Lyset kastet ud i vandret Retning til forskellige Sider.

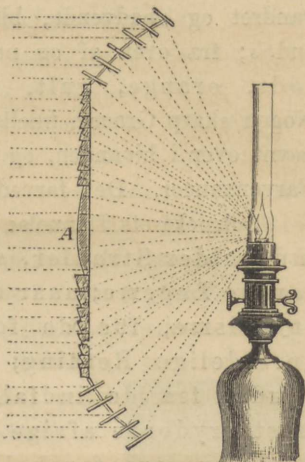


Fig. 71.

VI. Lysets Farvespredning (Dispersion).

49. Lysets Farvespredning er først undersøgt af Newton (i Midten af det 17. Aarhundrede).

Naar man lader et Straalebundt af Sollyset gaa igennem et lille Hul ind i et mørkt Værelse (Fig. 72) og der falde paa en hvid Skærm, faar man et lille hvidt Billede *s* af Solen at se; men lader man Straalebundtet brydes i et Prisme,

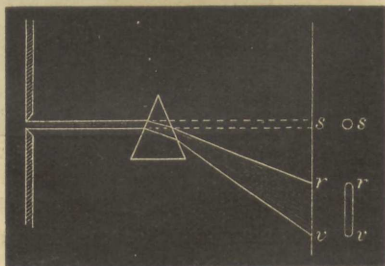


Fig. 72.

forsvinder s , og i Stedet for faar man at se et aflangt, farvet Billede rv , der er lige saa bredt som s , og hvis Længderetning gaar tværs paa Prismets brydende Kant; dersom denne er vandret og opadvendt, bliver rv lodret og beliggende lavere end s ; fra oven af og nedefter ses følgende 7 Hovedfarver: rødt, orange, gult, grønt, blaat, indigo, violet. Nogen skarp Grænse imellem disse Farver er der ikke, de gaa jævnt over i hinanden, og der er derfor i Virkeligheden utallige Farvenuancer. Det farvede Billede kaldes et Solspektrum.

Solspektrets Dannelse hidrører fra, at det hvide Sollys indeholder Straaler, som brydes ulige meget i et og samme Legeme; naar disse Straaler brydes igennem et Prisme, faa de forskellige Afvigelser fra den oprindelige Retning; de mindst brydbare afvige mindst fra de indfaldende Straalers Retning, de mest brydbare afvige mest. De forskellig brydbare Straaler gøre forskelligt Indtryk i Øjet; de mindst brydbare Lysstraaler fremkalde saaledes Indtrykket Rødt og kaldes for Næmheds Skyld røde Farvestraaler; paa samme Maade taler man om blaa, grønne etc. Farvestraaler.

At denne Forklaring er den rette, fremgaar af mange forskellige Forsøg, af hvilke her skulle nævnes nogle.

50. Straalernes forskellige Brydbarhed. At Sollysets forskellige Straaler virkelig brydes forskellig, kan vises saaledes. I Skærmen S (Fig. 73), hvorpaa Spektret falder, er

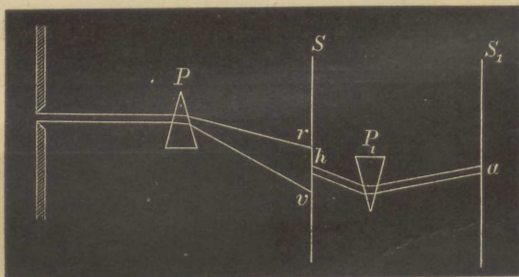


Fig. 73.

der et lille Hul h af en saadan Størrelse, at kun een Slags Farvestraaler kan komme igennem det; disse Straaler brydes derpaa af et andet Prisme P_1 og opfanges paa Skærmen S_1 .

Holdes nu S saaledes, at kun de grønne Straaler slippe igennem Hullet, ser man paa S_1 et lille grønt Billede a af dette. Har P_1 Kanten nedad, ville Straalerne kun blive brudte noget opad. Ved nu at dreje P kan man sende hvilken Art af Farvestraaler, man vil, igennem h , stadig i den samme Retning, og man vil da altid paa S_1 faa et Billede af den Farve, som de igennem h gaaende Straaler fremkalde; men de forskellige Billeder falde paa forskellige Steder; det violette Billede falder højst paa S_1 , det røde længst nede. — Af dette Forsøg fremgaar det tydelig, at de forskellige Farvestraaler have forskellig Brydbarhed, og tillige, at de enkelte Farvestraaler ikke kunne spaltes yderligere i forskellig farvet Lys.

Et andet Forsøg er følgende: De fra P udtrædende Farvestraaler brydes igennem et andet Prisme P_1 , hvis brydende Kant er vinkelret paa P 's brydende Kant; dersom denne sidste er vandret, skal P_1 's brydende Kant altsaa være lodret. De forskellige Farvestraaler ville da blive drejede ud til Siden, de røde mindst, de violette mest, og man vil derfor paa Skærmen se et skraat Spektrum $r_1 v_1$ i Stedet for det lodrette rv .

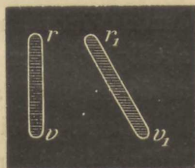


Fig. 74.

51. Farvestraalernes Forening til hvidt Lys. Naar det hvide Sollys kan spaltes i forskellige Farvestraaler, maa disse omvendt ved at forenes give et hvidt Lys; Forsøg bekræfte ogsaa dette.

Bag Prismet P , som har brudt Sollysets Straaler, opstilles et andet Prisme P_1 , der er af samme Substans og har samme brydende Vinkel P , men som vender den brydende Kant til den modsatte Side; paa Skærmene ses da et hvidt Billede. Afvigelserne for en Farvestraale ere ens i begge Prismer, men de gaa til modsatte Sider, og altsaa maa Straalen komme ud af det andet Prisme i en Retning parallel med den ubrudte Straale; dette gælder for alle Farvestraaler, og det

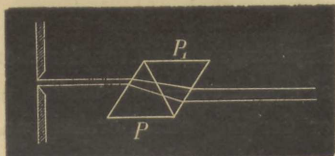


Fig. 75.

hvide Billede paa Skærmen maa altsaa hidrøre fra en Forening af alle Farvestraaler.

Et andet Forsøg er følgende: Lader man et Prisme, som træffes af et Solstraalebundt, rotere hurtig om en med den brydende Kant parallel Akse, vil man paa en hvid Skærm bag Prismet se en lys, hvid Stribe, hidrørende fra, at Øjet fra ethvert Sted, som Spektret farer hen over, modtager alle de forskellige Farveindtryk saa hurtig efter hinanden, at de smelte sammen til et Indtryk af hvidt Lys. Det bemærkes, at man ikke kan faa Spektret til at falde paa Skærmen i eller i Nærheden af Straalernes oprindelige Retning paa Grund af den minimale Afbøjning (S. 45).

Flere Forsøg ville blive nævnte i det følgende.

52. Prismekombinationer. Prismen med samme brydende Vinkel, men af forskellig Substans, sprede Lyset forskellig, og der er ikke den samme forholdsvise Udstrækning af de enkelte Farver.

Betragte vi Prismen med lille brydende Vinkel og smaa Indfalds- og Brydningsvinkler, har man for en Lysstraales Retningsforandring ved Gennemgang i Prismet $a = (n - 1) p$. Betragte vi de yderste violette og de yderste røde Straaler og betegne deres Brydningsforhold med henholdsvis n_v og n_r , faar man for deres Retningsforandringer

$$a_v = (n_v - 1) p \text{ og } a_r = (n_r - 1) p;$$

Vinklen imellem de to Straaler bliver

$$f = a_v - a_r = (n_v - n_r) p,$$

altsaa proportional med Størrelsen $n_v - n_r$, som er et Maal for Stoffets Farvespredningsevne, og proportional med Prismets brydende Vinkel.

Skønt der ikke er stor Forskel paa Flint- og Crownglas's Brydningsforhold for Straalerne, der høre til den midterste Del af Spektret — det førstes er lidt større end det sidstes — saa er der dog stor Forskel paa Farvespredningsevnen, idet $n_v - n_r$ er godt og vel dobbelt saa stor for Flintglas som for Crownglas.

Tage vi nu Straalerne til den midterste Del af Spektret som Maal for den Afbøjning, et Prisme giver Lyset, saa har man altsaa, at i Prismen med samme brydende Vinkel (Fig. 76) af de nævnte to forskellige Glassorter er Afbøjningen omtrent den

samme (a er ganske lidt større end a'), men Farvespredningen meget forskellig (f er dobbelt saa stor som f').

Anbringes et Prisme lige bagved et andet, saaledes at de brydende Kanter vende til modsatte Sider, saa sker der derved baade en Tilbagebøjning af Lyset og en Sammentrækning af Farvestraaleviften.

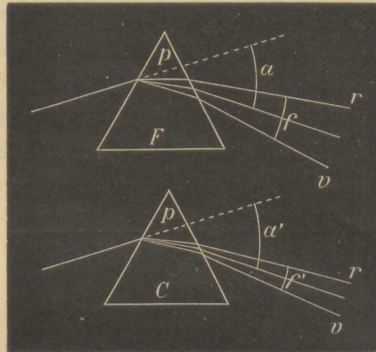


Fig. 76.

Vi ville her mærke os følgende tre Tilfælde:

1. Anbringer man bag F (Fig. 76) et andet Prisme af samme Substans og med samme brydende Vinkel, vil dette andet Prisme bøje Lyset saa meget tilbage, som det af F blev bøjet til Siden, og tillige vil det samle de spredte Farvestraaler; blive disse to kombinerede Prismer altsaa trufne af Sollys i parallelle Straaler, saa ville Straalerne træde ud af Prismerne i deres oprindelige Retning og uden Farvespredning (jvf. 51).

2. Dersom man har et Flintglasprisme med en brydende Vinkel p , og skaffer sig et Crownglasprisme, der har en brydende Vinkel p' , som er saa meget større end p , at Farvespredningen bliver den samme, og man saa anbringer disse Prismer paa den nys nævnte Maade, faar man en Afbøjning, men ingen Farvespredning; da f' (Fig. 76) skal skaffes ligesaa stor som f , maa p' gøres lig $2p$, og derved bliver Afbøjningen i Crownglasprismet $2a'$, saa at den samlede Afbøjning bliver $2a' - a$ i den Retning, hvori Crownglasprismet har afbøjet Lyset. En saadan Prisme-kombination kaldes et akromatisk Prisme. I al Almindelighed er den Betingelse, der skal være opfyldt, $f = f'$, d. v. s.

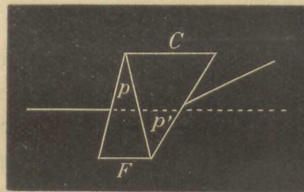


Fig. 77.

$$(n_v - n_r) p = (n'_v - n'_r) p'$$

eller

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

Forsøg vise ogsaa, at Sollys, der trænger ind igennem et lille Hul i et mørkt Værelse og falder paa et saadant sammensat Prisme, danner et hvidt Solbillede paa en hvid Skærm, men i en anden Retning end Straalernes oprindelige.

3. Dersom man har et Flintglasprisme med en brydende Vinkel p , og et Crownglasprisme med en lidt større brydende

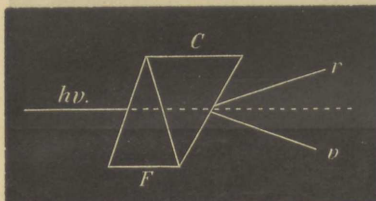


Fig. 78.

Vinkel, saaledes at Middel-Afbøjningen bliver ens i begge Prismer (a' bliver ligesaa stor som a), saa bliver derved Farvespredningen i Crown-glasset (v') ogsaa lidt større, men naar dog langt fra ikke Farvespredningen i Flintglas-

prismet. Sættes disse to Prismer derfor sammen med de brydende Kanter til modsatte Sider, faar man ingen Afbøjning for de midterste Straaler, saaledes som Fig. 78 antyder, men Farvespredning.

53. Akromatiske Linser. Straalernes forskellige Brydbarhed træder naturligvis ogsaa frem ved Lysets Brydning igennem en Linse. Betragt vi f. Eks. Lysstraaler, som komme til en Samlelinse parallelt med Aksen, saa mødes de jo i Brændpunktet, men dettes Afstand fra Linsen er afhængig af Brydningsforholdet (S. 48), saaledes at jo større dette er, desto mindre er Brændvidden; dette vil sige, at hvis Lyset ikke er homogent, saa forenes de mest brydbare Straaler nærmest ved

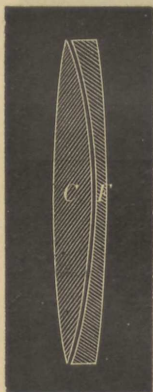


Fig. 79.

Linsen, de mindst brydbare fjernest derfra. Deraf følger, at Linsebillederne blive farvede; dette træder navnlig frem, naar man — som i Mikroskoper og Kikkerter — benytter flere Linser. Ligesom man kan konstruere akromatiske Prismer, saaledes kan man ved at forene en Samlelinse og en Spredelinse af forskellige Glas-sorter (Crownglaslinsen C og Flintglaslinsen F i Fig. 79) skaffe sig en akromatisk Samlelinse, d. e. en Samlelinse, som giver farvefrie Billeder, saaledes at alle Straaler, der udgaa fra et bestemt Punkt, ogsaa mødes i et bestemt Punkt efter Brydningen trods Straalernes forskellige Brydbarhed.

Beregningen er følgende. Man har for Brydning igennem to Linser (47) med Brændvidderne p og p'

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

en rød og en violet Straale, der udgaa fra samme Punkt, vil man have forenet i samme Punkt; a er altsaa fælles, og f vil man skaffe fælles for begge Straaler; dette kræver, at ogsaa højre Side af Ligningen er fælles for dem begge, altsaa

$$\frac{1}{p_v} + \frac{1}{p'_v} = \frac{1}{p_r} + \frac{1}{p'_r}$$

eller

$$\frac{1}{p_v} - \frac{1}{p_r} + \frac{1}{p'_v} - \frac{1}{p'_r} = 0.$$

Betegnes Radianerne i den ene Linse med ρ_1 og ρ_2 , i den anden med ρ_3 og ρ_4 , bliver denne Ligning til

$$(n_v - n_r) \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) + (n'_v - n'_r) \left(\frac{1}{\rho_3} + \frac{1}{\rho_4} \right) = 0.$$

Ere nu Substanterne og dermed de forskellige Brydningsforhold givne, saa er Ligningen den Betingelse, som Linseradianerne skulle tilfredsstille; Radianerne til de to Kugleflader, som skulle støde sammen, gøres ligestore. At den ene Linse er en Samle- og den anden en Spredelinse, ser man af Ligningen; de to Størrelser, hvis Sum er 0, maa nemlig have modsatte Fortegn, og da hver af Størrelserne bestaar af to Faktorer, af hvilke den første er positiv, saa maa den anden Faktor, henholdsvis $\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}$ og $\frac{1}{\rho_3} + \frac{1}{\rho_4}$, have modsat Fortegn i de to Størrelser; den af disse to Størrelser, som er positiv, svarer til en Samlelinse, den, der har negativt Fortegn, til en Spredelinse (jfr. 43).

54. Det rene Spektrum. Vi have set, at naar et Solstraalebundt, som trænger ind i et mørkt Værelse igennem en lille Aabning, brydes af et Prisme, dannes det saakaldte Solspektrum; dette viser dog ikke de rette, rene Farver. Hver Art af Farvestraaler vil nemlig danne sit Solbillede, og Solbillederne, som ere dannede af Straaler med lille Forskel i Brydningsforholdene ville delvis dække hinanden, eller man kan ogsaa sige: hver Solstraale i Bundtet danner sit Spektrum, og disse Spektre dække for en hel Del hverandre. Spektret paa Skærmen indeholder derfor Blandingsfarver, og kun i dets to Ender ser man nogenlunde rene Farver (i det yderste røde og det yderste violette).

Ved et rent Spektrum forstaar man et Spektrum, i hvilket alle Straaler af samme Brydbarhed ere samlede paa samme Sted, og paa dette Sted findes ikke Straaler af andre Brydbarheder.

For at faa et rent Spektrum er det nu aabenbart en første Betingelse, at det Straalebundt, som træffer Prismet, er meget smalt i Retningen tværs paa den brydende Kant, og derfor lader man Aabningen, igennem hvilken Lyset trænger ind, være en meget snæver Spalte parallel med Prismets brydende Kant. Dernæst gør man disse Straaler nøjagtig parallelle, førend de brydes igennem Prismet (er det Sollys, man har med at gøre, divergere Straalerne jo indtil godt $\frac{1}{2}^{\circ}$ fra hinanden), og dette opnaar man ved at lade dem brydes igennem en akromatisk Samlelinse, der har sit Brændpunkt i Spalten, og hvis Akse er vinkelret paa denne. I Fig. 80 forestille *SM* og *SD* to Straaler, som paa denne Maade ere gjorte parallelle, og som altsaa forholde sig, som om de kom fra en uendelig

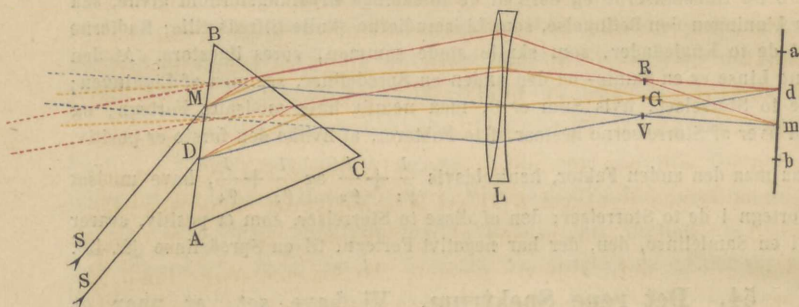


Fig. 80.

fjern Spalte *S*. Disse Straaler brydes nu i Prismet *ABC*, og enhver af dem spaltes i sine forskellige Farvestraaler, af hvilke der paa Figuren kun er vist tre, en rød, en gul og en violet; Straaler af samme Brydbarhed (Farve) komme ud af Prismet i indbyrdes parallelle Retninger. Man lader nu disse Straaler falde paa en akromatisk Linse *L*, og denne vil da i sit Brændplan forene de røde Straaler paa eet Sted (*R*), de gule paa et andet Sted (*G*), o. s. v., saaledes at der paa et bestemt Sted i Brændplanet kun findes Straaler af een Brydbarhed. Paa en Skærm, der holdes her, ser man derfor et rent Spektrum, dannet af en Mængde parallelle Spaltebilleder af forskellig Farve.

Ved et Forsøg, der er ordnet saaledes, kan man endvidere let vise Foreningen af Sollysets Farvestraaler til hvidt Lys.

Følge vi nemlig de forskellige Farvestraaler, som udgaa fra et Punkt i den forreste Prismeflade, f. Eks. M , saa ser man jo, at den røde gaar igennem R , den gule igennem G og den violette igennem V , men bagved Brændplanet mødes de i et Punkt m ; m kan altsaa siges at være et Billede af M ; paa samme Maade har D et Billede i d o. s. fr., saa at man i Planet ab faar et Billede af den forreste Prismeflade AB . Og nu viser det sig netop, at naar man anbringer en hvid Skærm paa ab 's Plads, saa danner der sig paa denne et hvidt Billede, og at dette er et Billede af den forreste Prismeflade, kan man vise ved at lægge et Stykke Papir paa den med et Hul i af en eller anden Form, thi Billedet paa Skærmen faar da dette Huls Form.

55. Komplementære Farver. Vi have set, hvorledes en Forening af alle Sollysets Farvestraaler giver hvidt Lys; udelukker man nogle af dem, give de andre en Blandingsfarve, der som Regel ikke er hvid. Forsøg over disse Blandingsfarver kan man f. Eks. anstille ved at benytte den Straalebrydning, som nys er omtalt og skizzeret i Fig. 80; dersom man nemlig paa Spektret RGV 's Plads indskyder smaa Skærme, der ikke tillade Gennemgang af de Straaler, som træffe dem, medens de, der slippe igennem Mellemrummene imellem Skærmene, ville gaa videre, saa vil der ved ab dannes et Billede md , hvis Farve er en Blandingsfarve af de Straaler, der slap igennem.

Forsøg af denne Art ville da vise, at Blandingsfarven kan blive hvid i visse Tilfælde, og at man kan faa hvidt frem ved Forening af kun to Slags Farvestraaler; saadanne to Farver siges at være komplementære, den ene siges at være den andens Udfyldningsfarve. Tænke vi os Spektret bestaaende af de 9 Farver: rødt, orange, gult, gulgrønt, grønt, blaagrønt, cyanblaat, indigo, violet, saa deler grønt denne Række i to Grupper, og et vist Nummer i den ene Gruppe har det tilsvarende Nummer i den anden Gruppe til komplementær Farve; saaledes ere rødt og blaagrønt, indigo og gult o. s. v. komplementære Farver. Grønt har ikke nogen enkelt komplementær Farve, men en Blanding af rødt og violet — Purpur — giver hvidt Lys ved Blanding med grønt. — Forener man

een Del af Sollysets Straaler for sig, og den anden Del for sig, saa ere de to derved fremkomne Blandingsfarver komplementære.

Ved Forsøg over Blandingsfarverne vil man endvidere finde, at enhver Farve i Spektret undtagen rødt og violet kan opstaa ved Forening af to Nabofarver; gult kan saaledes foruden at være en Enkeltfarve ogsaa fremkomme ved en Blanding af orange og gulgrønt, o. s. fr.

56. Regnbuen opstaar, naar Solen skinner, medens det regner, og dannes ved Lysets Brydning og Tilbagekastning i Regndraaberne. Man ser den, naar man vender Ryggen imod Solen; den viser sig med Solspektrets forskellige Farver, dog noget blandede.

Lad Cirklen i hosstaaende Figur være en Regndraabe; en Solstraale SA , der træffer Regndraaben i A , brydes f. Eks.

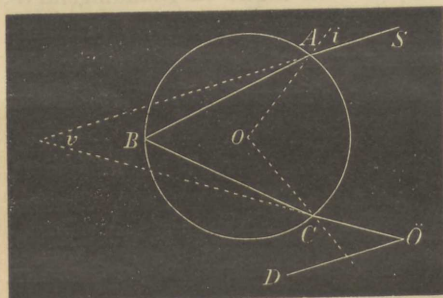


Fig. 81.

langs AB , tilbagekastes dernæst i Retningen $BC (= AB)$ og forlader Draaben i Retningen CO . Vinklen imellem den oprindelige Solstraales Retning og den af Regndraaben udtrædende Solstraale faas ved Forlængelse af SA og CO ; den være

v . Det vil let ses, at v afhænger alene af Indfaldsvinklen i og Brydningsforholdet; jo større dette sidste er, desto mindre er v , $\therefore v$ er størst for de røde, mindst for de violette Farvestraaler. Med Hensyn til v 's Afhængighed af i , saa vil en Beregning vise, at naar i varierer fra 0° til 90° , vokser v først og aftager derpaa igen; betragtes de røde Straaler, saa naar v sin største Værdi, $42^\circ 30'$, naar i har Værdien $59^\circ 30'$, og varierer i lidt paa bægge Sider af denne Værdi, frembringer dette ingen kendelig Forandring i den nævnte Værdi af v ; altsaa vil der, naar i er omkring $59^\circ 30'$, komme et saa stort Antal Straaler ud af Draaben i een Retning, at de kunne frembringe et kendeligt Indtryk af Rødt i et Øje, der opfanger

VII. Øjet.

57. Øjet er omtrent kuglerundt og sidder i Øjehulen under Pandebeinet. Fig. 83 viser et vandret Gennemsnit igennem det højre Øje. Den yderste Del af Øjet er den hvide uigennem-

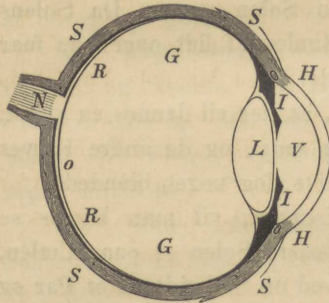


Fig. 83.

desuden lidt mere udhævet; denne Del kaldes Hornhinden (*H*). Paa Senehindens indvendige Side befinder sig den sorte Aarehinde, ved hvis Nærværelse Tilbagekastninger af Lysstraaler inde i Øjet forhindres; ved Hornhinden udvider Aarehinden sig til det ringformige Ciliarlegeme, hvortil Krystallinsen (*L*) er befæstet, og foran denne fortsættes Aarehinden

i den ringformige Regnbuehinde eller Iris (*I*), som i Midten har et cirkelrundt Hul, Øjeaabningen eller Pupillen; Iris er paa Indersiden sort, paa den ydre Side har den den Farve, der betegnes som Øjets Farve; ved Muskeltraade kan Pupillen ubevidst udvides og trækkes sammen og derved indlade en henholdsvis større og mindre Mængde Lys. Ved den saakaldte Ciliarmuskel kan Krystallinsens Krumning forandres, særlig dens forreste Flade, der forøvrigt ikke er saa krum som dens bageste. Paa Aarehinden udbreder Synsnerven, der træder ind i Øjet lidt hen ad Næsen til (*N*), sig som Nethinden. Krystallinsen deler Øjet i to Dele: det forreste Øjekammer, der er fyldt med Vandvædsken, og det bageste Øjekammer, der er fyldt med det geleeagtige Glaslegeme. Synsnerverne fra de to Øjne gaa op til Hjernen efter først at have krydset hinanden. Det indre Øje har paa et voksent Menneske en Diameter af cr. $2\frac{1}{4}$ Cm.

Hornhinden, Vandvædsken, Krystallinsen og Glaslegemet ville alle bryde en Lysstraale, der trænger ind i Øjet — Hornhinden mest, da Straalen kommer til denne fra Luften; Forholdene blive imidlertid meget nær de samme, som om Lyset

kun blev brudt i en Linse, naar denne saa blot tænkes at have et lidt andet Brydningsforhold, end Krystallinsen har. Det optiske Midtpunkt ligger inde i Linsen lidt foran dens bageste Flade og kaldes Knudepunktet. Linsens Akse kaldes Øjeaksen; det Sted paa Nethinden, hvor Øjeaksen træffer den, kaldes den gule Plet; Afstanden imellem Knudepunktet og den gule Plet er cr. 15^{mm}.

Øjet kan altsaa betragtes som et Camera obscura (48).

Den sfæriske Afbildelse i Linsen er tildels ophævet ved dennes Bygning; den bestaar nemlig af en Mængde Lag, hvis Brydbarhed aftage indefra og udefter; Randstraalerne, som ellers i en Linse frembringe Utydelighed i Billedet, ville her kun gennemløbe Lagene med den mindre Brydbarhed og kunne derfor forenes paa det samme Sted, hvor Centralstraalerne forenes.

58. Naar man vil se en Genstand, vender man Øjet imod den, saaledes at der paa Øjets Baggrund dannes et virkeligt, men omvendt Billede af Genstanden; dette Billede fremkalder paa Senerven det Indtryk, der bevirker, at vi se Genstanden. Skarpest ses Genstanden, naar Billedet dannes paa den gule Plet; paa dette Sted er Nethinden altsaa mest modtagelig, og herfra aftager Modtageligheden, til den helt hører op godt og vel halvvejs hen imod Hornhinden. Bliver Billedet dannet paa det Sted, hvor Synsnerven træder ind i Øjet (*N*), kan Genstanden ikke ses; man kalder dette Sted det blinde Punkt; dets Eksistens kan paavises paa følgende Maade: i en halv Snes Centimeters Afstand tegnes to sorte Prikker paa hvidt Papir, og medens det venstre Øje holdes lukket, retter man det højre Øje skarpt paa den venstre af de to Prikker; i en vis Afstand fra Papiret kan man da ikke se Prikken tilhøjre. — Den gule Plet svarer kun til en Synsvinkel paa 1°; den Omstændighed, at man ubevidst hurtig kan dreje Øjet, bevirker, at man tror den større.

Øjet har et stort Synsfelt; Vinklen imellem de to yderste Punkter i lodret Retning, som kunne ses, er cr. 120°, i vandret Retning 160° for et af Øjnene og 180° for dem bægge tilsammen.

Billedet, der dannes paa Nethinden, er omvendt; naar man ikke desto mindre ser en Genstand opret, ligger dette i, at man søger Genstanden i den Retning, hvorfra Lysindtrykket

kommer; faar man et Lysindtryk paa den nederste Del af Nethinden, søges Aarsagen opefter o. s. fr. Paa forskellig Maade kan man godtgøre, at Billedet er omvendt. Man kan saaledes rette Øjet imod en Flamme og i nogen Afstand fra Øjet holde et Stykke Papir med et lille Hul i, saa at man ser paa Flammen igennem Hullet; naar man saa bevæger en Naal eller Blyantspids lige foran Øjet fra højre til venstre, ser man Naalen vandre fra venstre til højre, bevæges den opad, ser man den gaa nedad; Sagen er den, at naar Naalen standser noget af det Lys, der trænger igennem den højre Del af Pupillen, søger man Aarsagen hertil tilvenstre, og omvendt. — Naar man af et nylig slagtet Dyrs Øje forsigtig skraber Senehinden paa Øjets bageste Side bort og vender Øjet henimod en Genstand, vil man paa dets Baggrund kunne se et tydeligt, omvendt Billede af Genstanden.

Den graa Stær hidrører fra Krystallinsens Uklarhed og kan kureres ved, at Linsen tages ud af Øjet, og dens Virkning erstattes saa af Brillglas, som ere Samlelinser. Den sorte Stær hidrører fra Svækkelse af Synsnerven og er inkurabel.

Da man ingen Varmefornemmelse faar i Øjet, maa dettes Stoffer indsuge de mørke Varmestraaler. Tyndall viste dette ved at danne et mørkt »Varmebillede« af Solen i en Linse af Jod i Svovlkulstof; paa Billedets Plads brød et Stykke Platin-svamp i Glød, men et Øje, der holdtes her, mærkede intet.

59. Øjets Akkomodationsevne. Et Linsebilledes Afstand fra Linsen er afhængig af Genstandens Afstand fra Linsen; vokser denne, vil Billedet rykke nærmere til Linsen, og omvendt. I Øjet skal Billedet altid dannes i en bestemt Afstand fra Linsen, naar Genstanden skal kunne ses skarpt; man kan jo imidlertid se tydelig i meget forskellige Afstande, og dette ligger i, at man ubevidst kan give Krystallinsen forskellig Krumning og derved forandre dens Brændvidde; skal man se i store Afstande, er Linsen fladere, i smaa Afstande krummere. Det nærmeste Punkt, Øjet kan akkomoderes for, kaldes Nærpunktet, det fjærreste Fjærnpunktet. Den mindste Afstand, i hvilken Øjet kan se skarpt uden Anstrængelse, kaldes den tydelige Synsvidde; denne er noget større end Nærpunktets Afstand fra Øjet, og i den faar man det største

Nethindebillede uden Anstrængelse, ser altsaa Enkelthederne tydeligst. Et normalt Øje har en tydelig Synsvidde paa cr. 25^{cm} , Nærpunktet i en Afstand af cr. 12^{cm} og Fjærnpunktet uendelig langt borte. For den Nærsynede ere alle disse Afstande mindre, og Fjærnpunktet er altsaa i en endelig Afstand fra Øjet. Den Langsynedes Nærpunkt er fjærnet mindst 30^{cm} fra Øjet.

Af det nævnte fremgaar det, at man ikke samtidig kan se en fjærn og en nær Genstand skarpt.

Nærsynethed (Myopi) hidrører i Reglen fra, at den vandrette Diameter i Øjet fra for til og bag er større end den lodrette, men kan ogsaa hidrøre fra en for stærk Krumning af Krystallinsen; i bægge Tilfælde maa Genstanden nær til Øjet, for at Billedet skal falde paa Nethinden; for fjærnere Genstande falder Billedet foran Nethinden, men kan bringes derhertil, naar der som Brilleglas anvendes Spredelinser. Langsynethed (Hypermetropi) hidrører fra, at den nævnte vandrette Diameter er mindre end den lodrette, eller sjældnere fra en for svagt krummet Krystallinse; Billederne af nære Genstande falde bag Nethinden, men kunne ved Hjælp af Brilleglas af Samlelinser bringes til at falde paa Nethinden. Med Alderen kunne alle Slags Øjne miste deres Akkomodationsevne for nære Genstande, idet de paagældende Muskler svækkes, og Øjnene blive af den Grund langsynede (Presbyopi).

Skulle Briller bringe Billedet af en Genstand i Afstanden a til at falde i den tydelige Synsviddes Afstand s fra Øjet, saa maa Brændvidden tilfredsstille Ligningen

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

idet Brilleglasset danner et indbildt Billede af Genstanden; for Nærsynede er a stor og p derfor negativ; for Langsynede er a lille og p derfor positiv.

Nærpunktets og for de Nærsynedes Vedkommende tillige Fjærnpunktets Beliggenhed kan findes ved følgende Forsøg. I et Kortblad stikkes to fine Huller en lille Millimeter fra hinanden, og disse Huller holdes tæt op foran et af Øjnene, saaledes at deres Forbindelseslinie er vandret. Bag Kortbladet holdes en fin Naal lodret imellem Hullerne, og man ser denne

Naal dobbelt, naar den er nær ved Kortbladet, fordi de to Straalebundter fra den igennem Hullerne først skære hinanden bag Nethinden (i *a*).

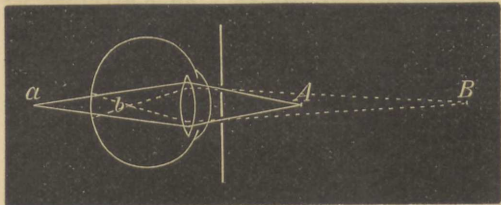


Fig. 84.

Flyttes Naalen længere bort, nærme de to Billeder sig til hinanden, og defalde helt sammen, naar Naalen er kommen ud til Nærpunktet.

Flyttes Naalen herfra længere bort, ser man stadig een Naal, men for det nærsynede Øje vil det indtræffe, at naar Naalen er kommen ud over et vist Punkt, Fjærnpunktet, ses den atter dobbelt, nu ville de to Straalebundter krydse hinanden foran Nethinden (i *b*) og træffe altsaa hvert sit Sted paa denne.

60. Nethindebilledets Belysning. Nethindebilledets Størrelse er aabenbart afhængig af Synsvinklens Størrelse. Lad os tænke os, at vi betragte en kvadratisk Flade; rykkes denne ud til en dobbelt saa stor Afstand, bliver Billedet af enhver af dens Sider halvt saa stort, og hele Billedet 4 Gange saa lille som før; tillige bliver ved denne Flytning Lysmængden, som Fladen sender ind i Øjet, 4 Gange saa lille, og altsaa træffes enhver af Billedets Arealenheder af den samme Mængde Lys i bægge Tilfælde: Nethindebilledets Belysning er altsaa uafhængig af Afstanden — bortset fra, at Lyset kan blive indsuget mere ved at gennemløbe den længere Vej i Luften.

61. Synet med to Øjne tjener for det første til, at man kan se Dybden i Rummet. I hvert Øje dannes der nemlig et Billede af den Genstand, der ses, men disse Billeder ere lidt forskellige, desto mere, jo nærmere Genstanden er. Man opfatter imidlertid, naar Billederne falde paa ensliggende Steder af Nethinden, Genstanden enkelt, saa at de to Billeder i Bevidstheden smelte sammen til eet, men Billedernes Forskelligheder tjene saa til Opfattelsen af Dybden i Rummet. Jo fjernere Genstanden er, desto mindre forskellige ere Nethindebillederne, og desto vanskeligere vil det derfor blive at afgøre, om det, man ser, er en virkelig Genstand eller et paa en plan Flade gengivet Billede deraf.

Naar man f. Eks. betragter en Kegel, hvis Toppunkt er vendt imod det Sted, der ligger midt imellem de to Øjne, vil det højre Øje se den som h i Fig. 85 — Toppunktet ses til-



Fig. 85.

venstre for Grundfladens Centrum — og det venstre Øje vil se den som v , Toppunktet ses tilhøjre for nævnte Centrum. Indretter man det nu saaledes, at man betragter h med det højre Øje og v med det venstre, kan man se Keglen staa frem i Rummet imod En med Toppunktet lige foran Grundfladens Centrum. Betragter man v med det højre og h med det venstre Øje, ser man en hul Kegel, d. v. s. Toppunktet ses bag Grundfladens Centrum. Til saadant Brug tjener Stereoskopet, der bestaar af en Kasse, i hvis Bund man lægger de to Figurer, som belyses igennem en Sideaabning paa Kassen eller, hvis Tegningerne ere gennemskinnende, bagfra. I Kassens Laag er der i to Huller, hvis Afstand er lig Øjnenes Afstand, indsat de to Halvlinser a og b , hvilke bryde Lyset som Prismer og desuden virke forstørrende. Dersom nu Billedet h ligger under b , Billedet v under a , skal man se med det højre Øje i b , med det venstre i a , og et Punkt, hvis Billeder ere T og T_1 vil man

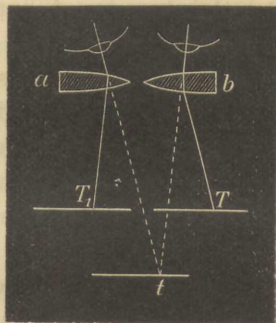


Fig 86.

da se som eet Punkt t . Saaledes gaar det med alle Punkterne af de to Billeder, disse blive sete paa samme Sted af de to Øjne, ligesom de se een Genstand, og man faar altsaa Indtrykket af, at der findes en virkelig Genstand. — I Særdeleshed bliver dette tydeligt, naar de to Billeder ere Fotografier, f. Eks. af et Landskab, tagne fra Steder, der ligge lidt fra hinanden; Dybden i Rummet træder da meget skuffende frem.

62. Afstandsbedømmelse. Til at bedømme Afstande i Rummet har Øjet forskellige Hjælpemidler. Naar man vil se paa en Genstand, retter man bægge Øjeakser imod den, og Størrelsen af den Vinkel, disse danne med hinanden, hjælper ubevidst til Bedømmelse af Afstanden hen til Genstanden. Denne Afstandsbedømmelse bliver som bekendt ogsaa mere usikker, naar man kun ser med eet Øje (man kan vanskelig traade en Synaal, naar man lukker det ene Øje). Dernæst Nethindebilledets Størrelse eller altsaa Synsvinklens Størrelse, naar man ellers har Forestilling om Genstandens virkelige Størrelse; jo fjærnere Genstanden er, desto mindre er Nethindebilledet. I Forbindelse hermed staar den Tydelighed, med hvilken vi kunne skelne Enkeltheder paa Genstanden, og Forskellen imellem Lys og Skygge; dernæst det ubevidste Indtryk af, hvorledes Øjet akkomoderes, for at Genstanden skal ses tydelig; og endelig Tilstedeværelsen af andre Genstande, thi naar der ingen saadanne findes i Nærheden, er Afstandsbedømmelsen vanskeligere (Eksempel: Vurdering af Afstande ude paa Havet, af et tomt Værelses Størrelse etc.)

63. Lysindtrykkets Varighed. Et Lysindtryk er cr. $\frac{1}{7}$ Sekund om at komme i Stand og i Gennemsnit $\frac{1}{3}$ Sekund om at forsvinde. Paa Lysindtrykkets Varighed grunder det sig, at en Glød, der svinges hurtig rundt i en Kreds, viser sig for os som en glødende Kreds; Glansen ved Fyrværkeriraketter beror delvis herpaa; endvidere det, at faldende Regndraaber ses som Streger; de S. 99 omtalte Forsøg med Farveskiver ere ogsaa baserede herpaa. Med Stroboskop, Fenakistoskop o. s. v. betegner man forskellige Apparater,

hvor man ved i hurtig Rækkefølge at betragte en Række konsekutive Stillinger af en Bevægelse synes at se denne selv virkelig udført. Fig. 87 viser en af Formerne for dette Apparat: en foroven aaben Cylinder, der kan drejes let om en lodret Akse, og i hvis Væg der foroven er udskaaret f. Eks. 12 lodrette Aabninger i ligestore, indbyrdes Afstande. Rundt langs Væggen under disse Aabninger er lagt en

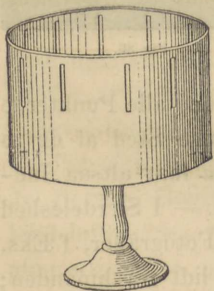


Fig. 87.

Strimmel Papir, paa hvilken der er tegnet 12 paa hinanden følgende Stillinger under en vis Bevægelse. Drejes Cylindren nu rundt med jævn Fart, ville de, der se igennem Hullerne ind paa Billederne, faa Indtryk af, at Bevægelsen virkelig udføres, idet man ikke har mistet Indtrykket af et Billede, naar det næste viser sig (Edisons Kinetoskop).

Naar Øjet i nogen Tid ser paa den samme Farve, f. Eks. paa en rød Plet, bliver det efterhaanden trættet derved, Farvefornemmelsen bliver svagere, og naar man saa vender Øjet imod en hvid Flade, saa virker af det hvides Farver det røde svagere paa det Sted i Øjet, hvor det røde Billede laa, og man ser derfor paa den hvide Grund en Plet med en Farve, der er komplementær til den røde.

64. Irradiationen. Med dette Navn betegnes det Fænomen, at en hvid Plet paa sort Grund ser større ud end en ligesaa stor sort Plet paa hvid Grund; rimeligvis hidrører dette fra, at et Punkt afbildes i Øjet ved en lille Plet, og da maa lyse Flader synes større, end de egentlig ere. Eksempel: holdes en Blyant op foran en Flamme, synes den at være tyndere paa det Sted, der ligger foran Flammen; naar kun en mindre Del af Maanen er lys, synes den at tilhøre en større Kreds, end den øvrige kun svagt synlige Del.

65. Astigmatisme. Med dette Navn betegnes den Fejl ved Øjet, at Krystallinsen har en forskellig Krumning i horisontal og vertikal Retning; Følgen heraf er, at man ikke ser en horisontal og en vertikal Linie i samme Plan lige skarpt samtidig. Fejlen kan afhjælpes ved cylindriske Brilleglas.

66. Endnu skal omtales nogle optiske Skuffelser, der grunde sig paa fejle Bedømmelser af Afstande og Størrelser. Den rette Linie i Fig. 88 er delt i to ligestore Dele, men den Maade, paa hvilke de to Pile ere anbragte, bevirker, at de to Dele synes at være meget uligestore, den størst, hvor Pilene vende Spidserne mod hinanden. Af de i Fig. 89 tegnede, nøjagtig ligestore Trapezer synes ethvert at være større end det nærmest tilvenstre,



Fig. 88.

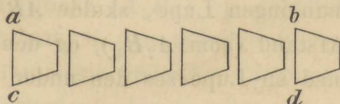


Fig. 89.

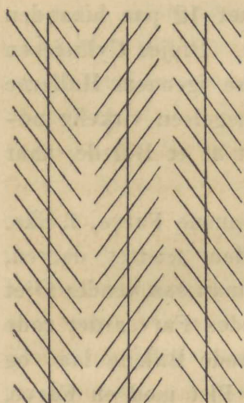


Fig. 90.

mindre end det nærmeste tilhøjre; tænker man sig draget de rette Linier ab og cd , synes disse at være nærmere hinanden tilvenstre end tilhøjre, medens de i Virkeligheden ere parallelle. De tre lodrette Linier i Fig. 90 ere nøjagtig parallelle, men Overskæringerne med de tre Systemer af indbyrdes parallelle Linier, der skifte Retning, bevirker, at de synes at fjerne sig fra hinanden i den Retning, i hvilken de overskærende Linier løbe sammen.

VIII. Optiske Instrumenter.

67. Lupe og Mikroskop benyttes til at forstørre Synsvinklen, naar denne er lille, fordi Genstanden, der skal betragtes, er lille.

68. Lupen eller Forstøringsglasset er i sin simpleste Skikkelse en Samlelinse. Genstanden (AB , Fig. 91) anbringes i en saadan Afstand a bag Linsen og indenfor Brændpunktet, at Ojet, der holdes foran Linsen, ser et indbildt Billede (A_1B_1)

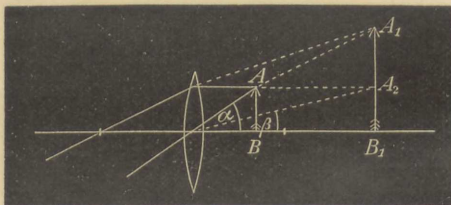


Fig. 91.

i den tydelige Synsviddes Afstand. Er Synsviddens s , havens følgende Relation

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

÷, fordi A_1B_1 falder paa samme Side som

AB . Ved Forstørringen forstaar man her, som i det Hele taget ved Lupe, Mikroskop og Kikkert, det Tal, der angiver, hvor mange Gange Synsvinklen (altsaa Nethindebilledet) er blevet forøget ved Anvendelsen af Synsredskabet. Anvendte man ingen Lupe, skulde AB holdes i den tydelige Synsviddes Afstand (som A_2B_1), og den vilde da ses under en Vinkel β ; med en Lupe ses den under Vinklen α , og man har for Forstørringen

$$F = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{tg \alpha}{tg \beta} = \frac{\frac{A_1 B_1}{s}}{\frac{A_2 B_1}{s}} = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{s}{a} = 1 + \frac{s}{p}.$$

Man ser, at Forstørringen ogsaa er lig det lineære Forhold imellem Billede og Genstand ($A_1 B_1 : AB$), og uden stor Fejl kan man sætte den lig $\frac{s}{p}$. Forstørringen vokser altsaa med den tydelige Synsvidde og er desto større, jo mindre Lupens Brændvidde er. Den Langsynede kommer ikke ved Brugen af en Lupe til at faa et større Nethindebillede end den Nær-synede, thi med det blotte Øje ser han Genstanden under en mindre Synsvinkel end den Nær-synede, fordi han maa holde den i en større Afstand fra Øjet.

Linser med lille Brændvidde have stærkt krummede Flader, og skulle Billederne blive tydelige, kan man af saadanne Linser kun benytte den midterste Del og maa derfor afblænde Linsen, eller man maa bruge smaa Linser. Derved bliver Billedet dog meget lyssvagt. Denne Ulempe kan hæves derved, at man benytter to eller tre, bag hinanden siddende Samlelinser (Dupleks-, Tripleksluper); de enkelte Linser kunne da gøres større og fladere og virke dog i Forening som en Linse med lille Brændvidde. Benyttes en stærkt forstørrende Lupe, vil en lille Flytning af Genstanden bringe Billedet til at forsvinde for Øjet, hvorfor man forsyner en saadan Lupe med et »Bord«, der klemmer Genstanden fast (det enkelte Mikroskop). Er Genstanden gennemsigtig, kan den belyses kunstig bagfra.

69. Det sammensatte Mikroskop bestaar af to Linser med fælles Akse: Objektivet (O_1 , Fig. 92), der er en lille akromatisk Samlelinse med lille Brændvidde, og Okularet (O_2), der gør Tjeneste som Lupe. Objektivet danner et virkeligt, forstørret, omvendt Billede af Genstanden (AB), hvorfor denne maa være anbragt lidt udenfor Objektivets Brændpunkt; af dette forstørrede Billede ($A_1 B_1$) ser da Øjet et indbildt, forstørret Billede (ab) i den tydelige Synsviddes Afstand; $A_1 B_1$ maa derfor være indenfor Okularets Brændpunkt. For at kunne faa Billedet i den tydelige Syns-

viddes Afstand, kan man forskyde det Rør, i hvis Ender Objektiv og Okular ere anbragte (se Fig. 94) op og ned, og

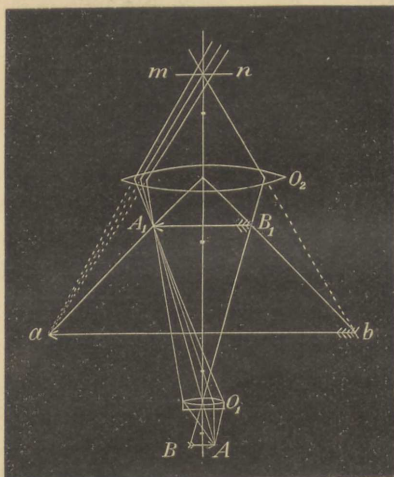


Fig. 92.

derved bringe Genstanden til at have den rette Afstand fra Objektiv. Paa Figuren er tegnet de yderste Straaler fra A , som gaa igennem Objektiv og Okular; man ser, at der er den Forskel paa Okularets og en almindelig Lupes Virke-

maade, at Okularet kun paa en lille Del af sin Overflade modtager Straaler fra et bestemt Punkt af Genstanden, medens en Lupe paa hele den mod Genstanden vendte Side mod-

tager Straaler fra ethvert Punkt paa Genstanden. (En Linie fra A_1 parallel med Aksen hen til Okularet og derfra igennem dets øverste Brændpunkt vil have Retningen igennem a).

Synsfeltet, α : det Rum, indenfor hvilket de Genstande maa befinde sig, som skulle kunne ses i Mikroskopet, ses at være det andet Net til en Kegleflade, hvis Toppunkt er Objektivets optiske Midtpunkt, og hvis Grundflade er Okularet. For at Øjet skal kunne opfange saa mange Straaler som muligt, maa det befinde sig der, hvor Straalebundterne krydse hverandre, altsaa ved mn ; anbringer man en lille hvid Flade her, ser man paa den en lys, cirkelrund Plet, hvis man belyser Objektivets fra neden af; denne Plet er et virkeligt Billede af Objektivets, dannet i Okularet, og kaldes Okularringen; Figuren viser ogsaa, at Straalerne fra Objektivets optiske Midtpunkt efter Brydningen i Okularet krydse hverandre i mn 's Skæringspunkt med Aksen.

Forstørrelsen er aabenbart Produktet af Objektivets og Okularets Forstørrelser; den første er $\frac{A_1 B_1}{AB}$, hvilket Forhold ikke er meget forskelligt fra $\frac{L}{p_1}$, hvor L er Mikroskopets

Længde (egentlig denne formindsket med A_1B_1 's Afstand fra Okularet) og p_1 Objektivets Brændvidde; Okularets Forstørrelse er meget nær $\frac{s}{p_2}$ (68), naar den tydelige Synsvidde betegnes med s , Okularets Brændvidde med p_2 . Forstørrelsen bliver altsaa omtrent

$$\frac{Ls}{p_1 p_2};$$

Forstørrelsen vokser altsaa med L og med s , og er desto større, jo mindre de to Brændvidder ere. Stor Værdi for L og lille Værdi for p_2 ville dog gøre Synsfeltet lille; lille Værdi for p_1 vilde gøre Billedet lyssvagt, thi Objektivet skulde da selv være lille, og dette vilde medføre, at Straalekeglen fra et Punkt paa Genstanden blev smal. Dog er det netop navnlig ved at gøre Objektivets Brændvidde lille (højest 5^{mm}), at man skaffer sig stærk Forstørrelse, men man benytter saa to eller flere akromatiske Linser som Objektiv (Fig. 93), for ikke at skulle nødes til at bruge en meget lille Linse. Ogsaa Okularet bestaar ved gode Mikroskoper af mere end een Linse, dels for at ophæve Farvespredningen, dels for at skaffe stærkere Forstørrelse (se S. 86).



Fig. 93.

Hvis Okularet befandt sig saa langt fra Objektivet, at Objektivbilledet A_1B_1 faldt lidt nedenfor Okularets Brændpunkt, vilde Okularet danne et virkeligt, forstørret Billede ovenover Mikroskopet; denne Ordning benytter man, naar man vil tilvejebringe et forstørret Fotografi af Genstanden.

Fig. 94 viser Mikroskopets Ydre. R er det indvendig sortmalede Mikroskoprør, der ved Hjælp af Skruen D kan skrues op og ned ad Opstanderen F . Genstanden lægges paa Bordet B , som har et Hul lige under Objektivet; Hulspejlet H bruges til at kaste Lys op paa Genstanden, naar den er gennemsigtig; men er Genstanden uigennemsigtig, belyses den fraoven ved Hjælp af Samlelinsen L , der bøjes ned til en dertil passende Stilling. I Reglen er hele Mikroskopet med Bærd og Belysningsapparatet drejeligt om en vandret Akse, saa at man kan give det forskellig Heldning.

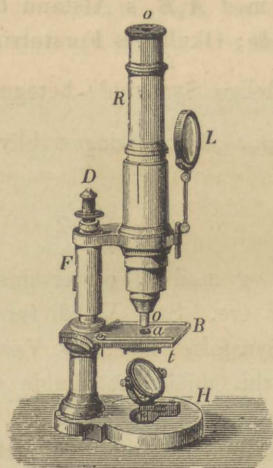


Fig. 94.

at et Øje, der kigger i Mikroskopet, ser de to Maalestokke dække hinanden, men den paa Glasmikrometret ses forstørret,



Fig. 95.

den anden derimod uforstørret, og hvis man nu ser, at hver Inddeling af den første spænder over f. Eks. p Inddelinger af den anden, saa er Forstørrelsen np .

Med gode Mikroskoper har man opnaaet en Forstørrelse af et Par Tusinde.

Traadkors, Okularmikrometer. For at man kan indstille Mikroskopet paa et bestemt Punkt, findes der et Traadkors, dannet af to Edderkoppespind, paa det Sted, hvor Objektbilledet dannes; naar Traadkorset kan forskydes til Siden ved Hjælp af en Mikrometerskrue, saaledes at man altsaa kan maale Forskydningen, kaldes det et Okularmikrometer. I Okularet ser man da samtidig Genstanden og Traadkorset skarpt og forstørret.

70. Solmikroskopet bruges til at kaste store Billeder af smaa gennemsigtige Genstande hen paa Skærme; det bestaar af et Belysnings- og et Forstørningsapparat. Det første er

dannet af et Heliostatspejl, som kaster Sollyset i vandret Retning hen paa en Linse L , der koncentrerer det til Brændpunktet, hvor den lille Genstand (ab) befinder sig, anbragt

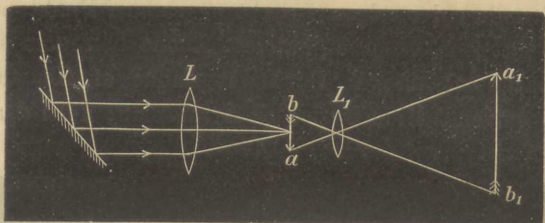


Fig. 96.

imellem to tynde Glasplader; en for stærk Opvarmning kan man forhindre ved at lade Straalerne forinden passere en Alunplade, som holder de mørke Varmestraaler tilbage. Forstøringsapparatet bestaar af en Linse L_1 (eller to), der anbringes bag ab i en Afstand, som er lidt større end Brændvidden; L_1 vil altsaa danne et omvendt, forstørret Billede af Genstanden; Forstørrelsen er lig Forholdet imellem Billedes og Genstands Afstand fra Linsen, saa at man ved at forskyde L_1 kan opnaa saa stor Forstørrelse, Pladsen tillader; en hvid Skærm anbringes paa a_1b_1 's Plads.

Man har drevet Forstørrelsen med Solmikroskopet op til 15000.

Lanterna magica (Skiptikon) tilsigter det samme som Solmikroskopet, men man benytter en kunstig Lyskilde (Lampe, Drummondsk Kalklys, elektrisk Buelys), og ved Hjælp af et Hulspejl eller Linser faar man Straalerne sendte i indbyrdes parallelle Retninger imod Linsen L .

71. Kikkerten (Teleskopet), først konstrueret i Begyndelsen af det 17de Aarhundrede, benyttes enten til at forstørre Synsvinklen, naar denne er lille, fordi Genstanden, der skal betragtes, er langt borte, eller til at skaffe lysstærke Billeder (af Fiksstjerner). Kikkerterne kunne enten være Linsekikkerter (Refraktorer) eller Spejlkikkerter (Reflektorer); de sidste (se 28) ere dog gaaede meget af Brug, efter at man lærte at slibe store akromatiske Linser.

72. Den astronomiske (Keplerske) Kikkert bestaar af en akromatisk Samlelinse med stor Brændvidde som Objektiv, og en lille Samlelinse som Okular.

Vi ville først antage, at Genstanden er saa langt borte, at alle Straaler, der udgaa fra eet og samme Punkt paa Genstanden, og som træffe Objektivets, kunne betragtes som indbyrdes parallelle; da vil Objektivets danne af Genstanden et virkeligt, omvendt Billede ab i sit Brændplan; det i a afbildede

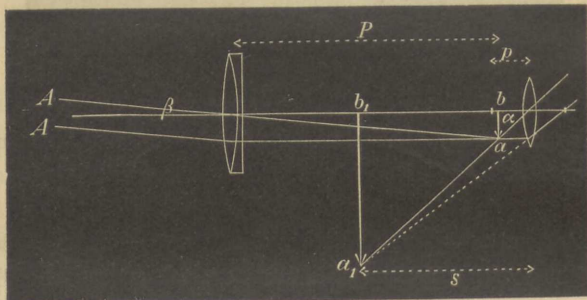


Fig. 97.

Punkt paa Genstanden befinder sig meget langt borte i Retningen aA , der gaar igennem Objektivets optiske Midtpunkt; det i b afbildede Punkt ligger i Aksens Retning. Igennem Okularet, der virker som Lupe, ser man et indbildt Billede a_1b_1 af ab , og for at kunne opnaa, at a_1b_1 falder i den tydelige Synsviddes Afstand fra Øjet, sidder Okularet i sit særskilte Rør, og dette kan skydes ud og ind i Kikketrøret. (En fra A udgaaende Straale igennem det af Objektivets Brændpunkter, som ligger foran Kikkerten, vil efter Brydningen i Objektivet gaa parallel med Aksen og igennem a hen til Okularet; efter at have passeret dette gaar Straalen igennem Okularets ydre Brændpunkt, og Straalen har da her Retning, som om den kom fra a_1 .) Man ser i denne Kikkert et omvendt Billede af Genstanden.

Kikkertens Længde er lidt mindre end eller (for stor Synsvidde) lig med Summen af Objektivets og Okularets Brændvidder, henholdsvis P og p ; den nærsynede skyder Okularet ind.

For Forstørringen F (se S. 76 nederst) faar man med stor Tilnærmelse, idet Synsvinklen β til Genstanden er bleven forstørret til α ,

$$F = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\frac{ab}{p}}{\frac{p}{P}} = \frac{P}{p}.$$

Forstørringen er altsaa lig Forholdet imellem Objektivets og Okularets Brændvidder.

Synsfeltet (se S. 78) er ligesom ved Mikroskopet en Kegleflade, hvis Toppunkt er Objektivets optiske Midtpunkt, og hvis Grundflade er Okularet.

En stærk Forstørning kræver en stor Brændvidde for Objektivet, men derved bliver Kikkerten lang og Synsfeltet lille; en stærk Forstørning kræver endvidere en lille Brændvidde for Okularet, men derved bliver dette ogsaa selv lille, og Synsfeltet lille.

I Fig. 98 er Billedet konstrueret under Forudsætning af, at Genstanden ikke ligger saa fjernt fra Kikkerten, at Straaler fra samme Punkt kunne betragtes som indbyrdes parallelle; Objektivbilledet ab falder da lidt udenfor Objektivets Brændpunkt; tillige er i Figuren vist Gangen af alle Straaler fra A , som trænge igennem Kikkerten.

Okularringen. Øjet skal holdes paa det Sted, hvor Straalebundterne fra de forskellige Punkter krydse hverandre; paa dette Sted er Tværsnittet igennem alle af Okularet udtrædende Straaler mindst, og holder man paa dette Sted en lille hvid Skærm, dannes der paa denne, naar Objektivet er belyst f. Eks. af Himmellyset, en cirkelrund Lyssplet, som er et Billede af Objektivet i Okularet; dette Billede kaldes Okularringen.

Lad os antage, at Kikkerten er trukken ud til sin fulde Længde $P + p$; Objektivet og Okularet have da fælles Brænd-

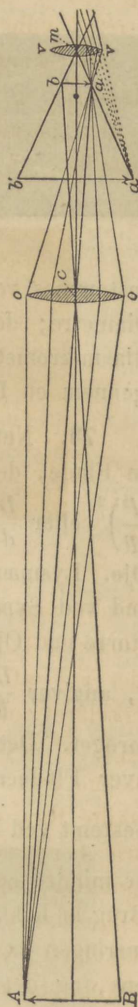


Fig. 98.

punkt inde i Kikkerten. Okularringen er i Fig. 99 konstrueret ved Straaler fra diametralt modsatte Punkter af Objektivet, een igennem Okularets optiske Midtpunkt og een igennem det for-

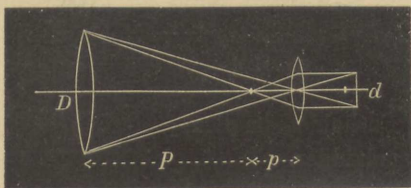


Fig. 99.

reste Brændpunkt. Kaldes Objektivets Diameter D , Okularringens d , har man af ligedannede Trekkanter

$$\frac{P}{p} = \frac{D}{d},$$

saa at Kikkertens Forstørring kan experimentelt

bestemmes ved Forholdet imellem Objektivets og Okularringens Diametre; den sidste maaler man ved at anbringe et fint Glasmikrometer paa Ringens Plads og betragte det og Ringen igennem en Lupe.

73. Nethindebilledets Belysning. Nethindebilledet af en Flade, der betragtes, bliver ved Hjælp af Kikkerten gjort $\left(\frac{P}{p}\right)^2$ eller $\frac{D^2}{d^2}$ Gange saa stor som ved Synet med det blotte Øje. Lysmængden, der naar til Øjet, er saa mange Gange større end ved Synet med det blotte Øje, som Objektivets Flade er større end Øjeaabningens Areal; kaldes Øjeaabningens Diameter δ , angiver $\frac{D^2}{\delta^2}$ altsaa det Antal Gange, Lysmængden bliver forøget. Det Tal, som udtrykker, hvor mange Gange stærkere hver Fladeenhed af Nethindebilledet bliver belyst, er derfor bestemt ved $\frac{D^2}{\delta^2} : \frac{D^2}{d^2} = \frac{d^2}{\delta^2}$. Man ser heraf, at hvis Okularringen er mindre end Øjeaabningen, bliver Billedet svagere belyst ved Brug af Kikkert end ved Synet med det blotte Øje; hvis Okularringen er lige saa stor som Øjeaabningen, ere Belysningerne ens, og det samme er Tilfældet, hvis Okularringen er større end Øjeaabningen, thi ganske vist faar Brøken $\frac{d^2}{\delta^2}$ i dette Tilfælde en Værdi, som er større end 1, men af den hele Lysmængde, som er traadt ind igennem Objektivet vil kun Brøkdelen $\frac{\delta^2}{d^2}$ naa ind i Øjet, Resten rammer Øjet udenfor Pupillen.

Disse Betragtninger gælde imidlertid ikke, naar Nethindebilledet kun er et Punkt, og gælde derfor ikke ved Betragtning af Fiksstjerner, hvilke vise sig som Punkter selv i de stærkest forstørrende Kikkerter. Men disse Punkter ere stærkt lysende, nemlig $\frac{D^2}{\delta^2}$ Gange stærkere lysende end ved Synet med det blotte Oje.

74. Traadkors. Naar man, hvad der ofte er Tilfældet, skal bruge Kikkerten til at sigte med, forsynes den med et Traadkors, dannet af to fine Edderkoppespind, paa det Sted, hvor Objektivbilledet dannes; i Okularet ser man da Traadkorset — ligesom Billedet af Genstanden — i den tydelige Synsviddes Afstand. Traadkorsets Overskæringspunkt skal ligge i Kikkertens Akse, og skal man sigte til et Punkt, bringer man Kikkerten i en saadan Stilling, at man ser dette Punkt i Overskæringspunktet.

75. Vil man fotografere Genstanden, der kan ses i Kikkerten — og i den nyere Tid benytter man Fotografering af Himmelkuglen i stor Udstrækning (Astrofotografi) — fjerner man Okularet og anbringer den fotografiske Plade i Objektivets Brændplan.

Den største Kikkert, der er forfærdiget, har et Objektiv paa lidt over 1 Meters Diameter, og den er 20 Meter lang (o: godt Halvdelen af Rundetaarns Højde. Den i 1895 paa Københavns Observatorium opstillede Kikkert har en Længde af godt 5 Meter, og dens Objektiv en Diameter paa godt $\frac{1}{3}$ Meter.

76. Den terrestriske Kikkert. Den Ulempe, der vil være forbunden med at bruge den astronomiske Kikkert til

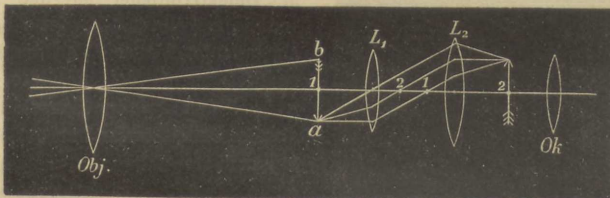


Fig. 100.

Betragtning af terrestriske Genstande, nemlig at Billedet er omvendt, kan man hæve ved imellem Objektivbilledets Plads og Okularet at indskyde to Samlelinser, L_1 og L_2 (med de

respektive Brændvidder 1 og 2), hvilke tjene til at vende Objektivbilledet om. Figuren viser det nærmere.

77. Sammensatte Okularer. Baade i Mikroskopet og i den astronomiske Kikkert bruges Okularer, der bestaa af to Linser.

Huygens's Okular (Fig. 101) bestaar af to plankonvekse Linser L_1 og L_2 , der vende de krumme Flader imod de fra Objektivet kommende

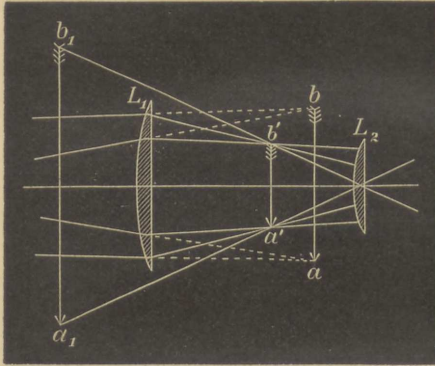


Fig. 101.

Straaler, i Figuren tilvenstre. Objektivet vilde danne Billedet ab , men før dette dannes, brydes Straalerne igennem Kollektivlinsen L_1 , der er stillet saaledes, at den samler Straalerne, saa at der dannes det mindre Billede $a'b'$, og dette betragtes igennem Linsen L_2 , der tjener som Lupe og bevirker, at Øjet ser Billedet a_1b_1 i den tydelige Synsviddes Afstand. Derved at Straalerne blive nærmede til Aksen af Linsen L_1 , kan et større Antal Lyskegler

træffe L_2 , og Synsfeltet bliver altsaa forøget. Tillige kan man opnaa, at Farvespredningen, der ellers vilde forekomme i Okularet, hæves.

Har Instrumentet Traadkors, maa dette jo befinde sig imellem de to Linser; ved Brugen forskyder man først Øjeglaset L_2 , indtil man ser Traadkorset skarpt, og dernæst forskydes det samlede Okular, til Genstanden ogsaa ses skarpt, altsaa til Billedet

$a'b'$ falder i Plan med Traadkorset.

Ramsdens Okular (Fig. 102).

I dette virke bæggé Linserne i Okularet som Luper; Linsen L_1 danner af Objektivbilledet ab det større indbildte Billede $a'b'$; dette befinder sig indenfor Linsen L_2 's Brændpunkt, og Øjet ser da det indbildte Billede a_1b_1 i den tydelige Synsviddes Afstand. Dette Okular har det Fortrin, at Traadkorset ikke befinder sig imellem de to Linser, som derfor have uforanderlig Afstand.

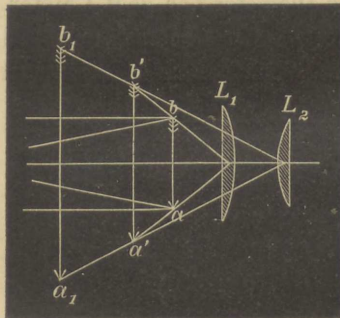


Fig. 102.

78. Galilais Kikkert (den hollandske K.) bestaar af en akromatisk Samlelinse til Objektiv og en Spredelinse til Okular. Objektivet søger at danne et virkeligt, omvendt Billede

ab af Genstanden, og i Fig. 103 er det forudsat, at Genstanden kan betragtes som værende uendelig fjern, i hvilket Tilfælde

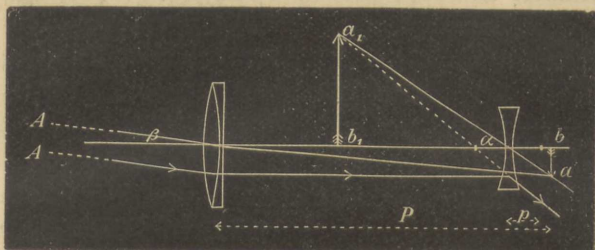


Fig. 103.

ab vilde falde i Objektivets Brændplan. Men for Straalerne naa hen til ab , brydes de igennem Okularet, der er anbragt saaledes, at dets yderste Brændpunkt (det længst tilhøjre i Figuren) falder indenfor ab ; Straalerne spredtes derved fra hverandre, og Okularet skal nu være indstillet saaledes, at et Øje, der holdes ind til Okularet — tæt ved det, for at det kan opfange det mest mulige Lys — ser Billedet $a_1 b_1$ i den tydelige Synsviddes Afstand. Man ser i denne Kikkert oprette Billeder.

Kikkertens Længde er lidt mindre end eller (for stor Synsvidde) lig med Differensen imellem Objektivets og Okularets Brændvidder, henholdsvis P og p .

For Forstørringen faar man tilnærmelsesvis, idet Synsvinklen β er forøget til α ,

$$F = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{tg \alpha}{tg \beta} = \frac{\frac{a_1 b_1}{p}}{\frac{a_1 b_1}{P}} = \frac{P}{p},$$

saa at Forstørringen ogsaa her er lig Forholdet imellem Objektivets og Okularets Brændvidder.

Synsfeltet er her en Kegleflade, hvis Toppunkt ligger i Objektivets optiske Midtpunkt, og hvis Grundflade er Øjeaabningen. Vil man have et Synsfelt af nogenlunde ordentlig Størrelse, maa Kikkerten være

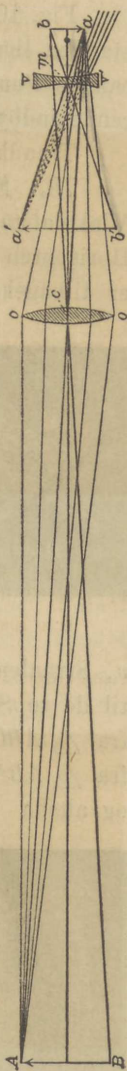


Fig. 104.

kort, og altsaa Objektivets Brændvidde forholdsvis lille, hvad der bevirker, at Forstørrelsen ikke kan blive stor.

Denne Kikkert anvendes bl. a. som Theaterkikkert.

Fig. 104 viser Straalegangen i denne Kikkert, naar Genstanden ligger saa nær ved Kikkerten, at Straalerne fra et og samme Punkt paa Genstanden ikke kunne betragtes som værende indbyrdes parallelle.

Traadkors kan ikke anbringes i Galilæis Kikkert.

79. Sekstanten. Dette Instrument bruges til at finde Vinkelafstanden imellem to Punkter, en Stjernes Højde over Horisonten etc. Det grunder sig paa, at naar en Lysstraale er tilbagekastet successive fra to plane Spejle, der danne en

Vinkel med hinanden, saa danner Straalens sidste Retning en Vinkel med dens oprindelige Retning, der er det dobbelte af Vinklen imellem Spejlene. Spejlene være MN og NP under Vinklen

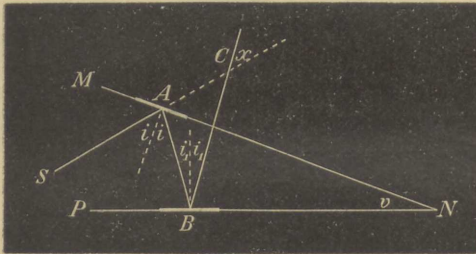


Fig. 105.

v , Straalens Gang være $SABC$, Vinklerne med Indfaldsloddene til de to Spejle henholdsvis i og i_1 . Man har da
 fra $\triangle ABC$: $2i = 2i_1 + x$, $x = 2(i - i_1)$,
 fra $\triangle ABN$: $90^\circ + i = i_1 + 90^\circ + v$, $v = i - i_1$,
 og altsaa $x = 2v$.

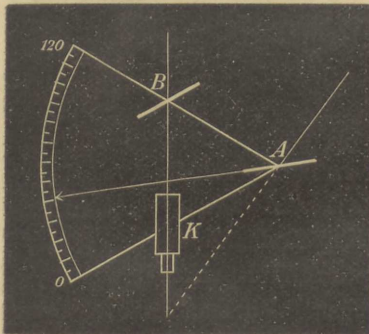


Fig. 106.

Instrumentet (Fig. 106) bestaar af et Cirkeludsnit af Metal paa 60° (heraf Navnet Sekstant); et Spejl er drejeligt om en Akse igennem Udsnittets Centrum A og vinkelret derpaa, og i Flugt med Spejlet bærer dette en Viser, der peger paa Inddelingerne paa Kredsen. Paa Armen ud til Buens ene

Endepunkt er i B fastgjort en paa Udsnittet vinkelret Glasplade parallelt med Radien til Buens andet Endepunkt, hvilket sidste er Nulpunkt for Inddelingerne; den ene, f. Eks. øverste, Del af denne Glasplade er gennemsigtig, medens den anden (nederste) Del er spejlende. Paa Armen ud til Nulpunktet er fastgjort en Kikkert K med Traadkors, der er rettet imod det faste Spejl i B og stillet saaledes, at Kikkertaksen og Radien AB danne ligestore Vinkler med Spejlet.

Skal man nu maale Vinkelafstanden imellem to Punkter, tages Instrumentet i Haanden, saa at Kredsen kommer i Plan med de to Punkter og saaledes, at man ved at kigge igennem K og den ubelagte Del af Spejlet i B ser det ene af Punkterne overet med den Traad i Traadkorset, som er vinkelret paa Instrumentets Plan. Dernæst drejes Spejlet i A hen til en saadan Stilling, at man i Kikkerten og den belagte Del af Spejlet i B ser Billedet af det andet Punkt overet med det første. Naar dette nemlig er Tilfældet, ville Straaler fra det nævnte andet Punkt tilbagekastes fra A over imod B og derfra ind i K . Vinklen imellem Synslinierne fra Iagttagelsesstedet og til de to Punkter er da dobbelt saa stor som Vinklen imellem Spejlene, hvilken Vinkel er lig Viserens Vinkel med Radien til Nulpunktet. For straks at kunne aflæse den søgte Vinkel er Buen delt i halve Grader, og disse benævnedes hele; man undgaar derved at multiplicere med 2.

80. Spejlaflæsning. Den Omstændighed, at en lille Drejning af et Spejl let bliver synlig ved Spejlbilledets større Flytning (20) har man benyttet til at gøre smaa Drejninger af Magnetnaale synlige. Man kan her bruge to Metoder, nemlig subjektiv eller objektiv Aflæsning. I bægge Tilfælde forsynes Magnetnaalen med et lille, lodret Spejl, der indeholder Magnetens Omdrejningsakse, og meget nær parallelt med dette Spejl i Magnetens Hvilestilling er der i stor Afstand anbragt en vandret Maalestok i Højde med Spejlet. Lad MN (Fig. 107) være Spejlet i Hvilestillingen, O den lodrette Omdrejningsakse, og PQ Maalestokken. Benyttes nu subjektiv Aflæsning, saa bruges en vandret Kikkert K med en lodret fin Traad igennem Kikkertaksen; K er stillet vinkelret paa Maalestokken, og hvis denne nu er nøjagtig parallel med Spejlet,

saa vil man igennem K se Spejlbilledet af den Inddeling o , som paa Maalestocken ligger lige over eller under Kikkertaksen.

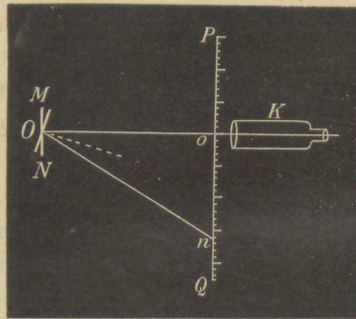


Fig. 107.

Drejer Spejlet sig lidt, saa synes Maalestocken at flytte sig igennem Kikkertens Felt, og naar det er kommet i Ro i en ny Stilling, ser man en ny Inddeling n over eet med Traaden i Kikkerten; af Flytningen on kan da den Vinkel v beregnes, som Spejlet har drejet sig, idet man har $on = a \cdot \tan 2v$, hvor a er Spejlets Afstand fra Maalestocken. —

Dersom man vil have objektiv Aflæsning, sender man et Lysstraalebundt i en bestemt Retning imod Spejlet, og det danner da ved Tilbagekastning en Lysplet paa Maalestocken; ved en lille Drejning af Spejlet, bevæges denne Lysplet et forholdsvis stort Stykke hen ad Maalestocken, og Drejningen kan paa den Maade gøres synlig for Mange paa een Gang.

81. Spektroskopet er et Instrument, som benyttes til en finere lagttagelse af saavel Solspektret som andre Lysgiveres Spektre. I sin simpleste og hyppigste Form bestaar det af en Kollimator, et Prisme og en Kikkert. Kollimatoren er et indvendig sværtet Rør, der i sin ene Ende har en snæver,

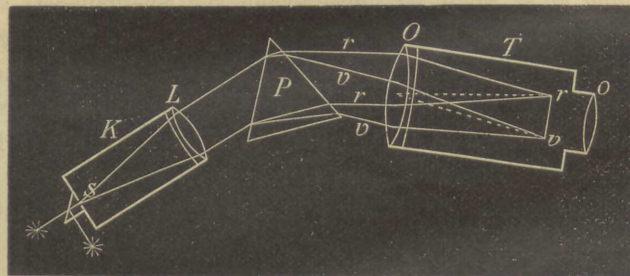


Fig. 108.

lodret Spalte S og i den anden Ende en akromatisk Samlelinse L , hvis Brændpunkt befinder sig i S . De igennem S indtrædende Straaler brydes da i L og gaa videre i parallelle

Retninger; de træffe derpaa Prismet P som er af en Glassort, der har stor Farvespredningsevne (Flintglas), og hvis brydende Kant er parallel med S ; Prismet stilles under Forsøget i Hovedstillingen. Fra P træde Farvestraaler af samme Brydbarhed ud i indbyrdes parallelle Retninger, de røde af en vis Brydbarhed i een Retning, de violette af ens Brydbarhed i en anden Retning o. s. v. Disse Farvestraaler træde nu ind i en astronomisk Kikkert T , og dennes Objektiv O , som jo er en akromatisk Samlelinse, vil i sit Brændplan danne et Spektrum af Lyskilden. (Konstruktionen af dettes enkelte Dele sker lettest ved Hjælp af Straaler igennem Objektivets optiske Midtpunkt.) Dette rene Spektrum ses forstørret igennem Okularet o .

Man kan indrette det saa, at man kan betragte to Lyskilders Spektre paa een Gang, det ene over det andet. Man anbringer da udenfor S og dækkende dennes ene Halvdel et retvinklet Prisme paa den i Figuren viste Maade. En Lyskilde, der er anbragt ud til Siden, kaster da i Kraft af den fuldstændige Tilbagekastning inde i Prismet, Lys igennem denne Halvdel af Spalten, og en anden Lyskilde sender Lys direkte ind igennem Spaltens anden Halvdel.

Instrumentet bygges saaledes, at Kollimator og Kikkert paa Slæder kunne føres rundt paa en vandret, inddelt Skive, og Prismet er befæstet til et Bord i Midten, d. e. en vandret Plade, der kan drejes om en lodret Akse igennem Kredsens Centrum; har Kikkerten dernæst Traadkors, bliver man i Stand til at kunne foretage Maalinger paa Instrumentet, som da kaldes Spektrometer. Forsyner man det nævnte Bord med en Viser, der peger paa den inddelte Kreds, kan Instrumentet ogsaa benyttes til at maale Vinkler paa Prismer og

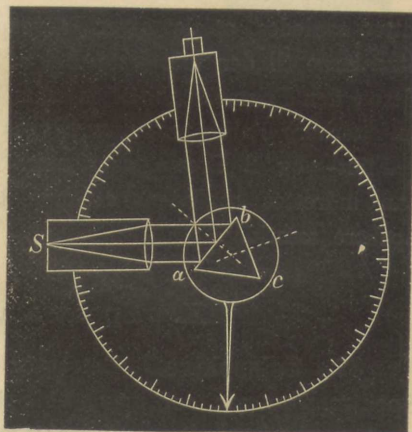


Fig. 109.

Krystaller; det kaldes da gerne et Goniometer. Lad os antage, at Vinklen b paa Prismet abc skal bestemmes; Fremgangsmaaden er da følgende: Kikkerten T drejes hen til en saadan Stilling, at den er rettet imod samme Prismeflade (ab) som Kollimatoren, og Bordet med Prismet indstilles saaledes, at man over eet med Traadkorsets lodrette Traad ser et Spejlbillede af Spalten S i Fladen ab ; Viserens Stilling overfor Inddelingerne aflæses. Derpaa drejer man Bordet med Prismet (i Figuren: imod Urviserens Retning), indtil Fladen bc kommer hen paa ab 's tidligere Plads; dette kendes paa, at man atter i Kikkerten ser et Spejlbillede af S over eet med den lodrette Traad, og naar dette er naaet, aflæses Viserens Stilling igen. Man kender da af de to Aflæsninger den Vinkel, Prismet er blevet drejet; denne Vinkel er Vinklen imellem Indfaldsloddene til ab og til bc , og den søgte Vinkel b er Supplementvinkel hertil.

Ligesigtende Spektroskop (spectroscope à vision directe). I dette Instrument har Kollimator og Kikkert fælles Akse og ere fast forbundne med hinanden, hvad der gør Instrumentet let at haandtere, men Prismet maa da være ind-

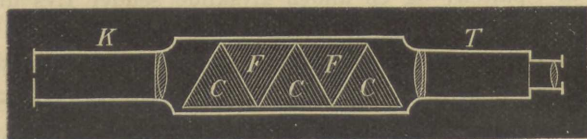


Fig. 110.

rettet saaledes, at det giver Farvespredning uden Afvigelse for Straalerne til den midterste Del af Spektret, og man benytter altsaa den Prismekombination, som er omtalt S. 62; for at faa en stærkere Farvespredning bygges Prismet dog i Reglen af 2 Flint- og 3 Crownglasprismer. Ogsaa dette Spektroskop kan indrettes saaledes, at man kan betragte to Lyskilders Spektre samtidig.

IX. Spektralanalysen.

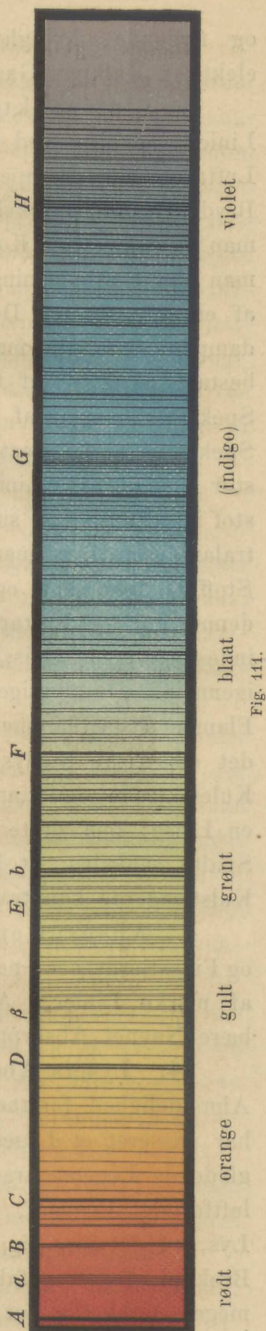
82. Solspektret. Betragter man Solens Spektrum i et Spektroskop, saa ser man, at Spektret er gennemtrukket af en Mængde fine mørke Linier tværs paa dets Længderetning,

altsaa parallele med Spalteaabningen. Disse Linier ere først opdagede af Wollaston i Aarhundredets Begyndelse, men nærmere undersøgte af Fraunhofer, efter hvem de have faaet Navn af de Fraunhoferske Linier. Der er flere Tusinde saadanne, fordelte uregelmæssig over Spektret; man har betegnet de otte mest fremtrædende af dem med de store Bogstaver *A—H*; *A*, *B* og *C* ligge i det røde, *D* i det orange-gule, *E* i det gulgrønne, *F* i det blaa-grønne, *G* i det indigo og *H* i det yderste violette. Tilstedeværelsen af disse mørke Linier tyder paa, at Sollyset mangler Straaler af visse Brydbarheder; en Del af Linierne hidrøre dog fra Lysindsugning i vor Atmosfære, særlig paa Grund af dennes Indhold af Vanddamp; de Linier, som skrive sig herfra, kendes paa, at de træde tydeligst frem Morgen og Aften, altsaa naar Luftens Indhold af Vanddamp er stort, og Straalerne have en lang Vej i Atmosfæren at tilbagelægge.

Fig. 111 viser Solspektret med de tydeligste Linier; *D*-Linien er en Dobbeltlinie.

83. Forskellige Lyskilders Spektre. Ved med Spektroskopet at undersøge forskellige Lyskilders Spektre har man fundet, at der gives tre Slags Spektre:

a. Kontinuerlige (uafbrudte) Spektre, d. v. s. Spektre som det, Solen giver, men uden mørke Linier, saa at der ingen Farvestraaler mangler. Saadanne Spektre frembringes af faste



og flydende, hvidglødende Legemer (Drummondsk Kalklys, elektrisk Kalklys, Gasflamme, flydende Jærn etc.).

b. Liniespektre, som bestaa af flere eller færre lyse Linier, adskilte ved mørke Rum; de fremkaldes af glødende Luftarter eller Dampe, hvilke altsaa kun udsende Lys af visse Brydbarheder, forskellig for de forskellige Stoffer. — Bringer man saaledes lidt Kogsalt ind i en Spritflamme (eller sætter man lidt Saltopløsning til Spritten), vil Spektret kun bestaa af en intensiv gul Dobbeltlinie; denne hidrører fra Natriumdampene. Lader man Kalium fordampe i en Spritflamme, bestaar Spektret af to Linier, en rød og en violet; Brints Spektrum bestaar af en rød, en grøn og en violet Linie o.s.v. Spektrene af de fleste Metaller i Dampform bestaa dog af en stor Mængde lyse Linier (Jærns et Par Tusinde); hvert Grundstof i Luftform har sit karakteristiske Spektrum, og ved Spektralanalysen kan man paavise overordentlig svage Spor af Stoffer; man har ogsaa opdaget nogle nye Grundstoffer ad denne Vej. — Luftarter faar man i glødende Tilstand ved at indeslutte dem i Geisslerske Rør og sende elektriske Udladninger igennem. De flygtige Metaller bringes i Dampform i en hed Flamme (Spritflamme, Bunsens Lampe), de mindre flygtige i det elektriske Buelys; man lægger da Metallet paa den ene Kulektrode og danner et Billede af Lysbuen ved Hjælp af en Linse; paa dette Billedes Plads anbringes Spektroskopets Spalte saaledes, at kun Lyset fra Lysbuen og ikke det fra Kulstængerne kan trænge ind.

c. Absorptions- (Indsugnings-) Spektre som Solens og Fiksstjernernes Spektre; det farvede Baand er gennemskaaet af mørke Linier. At disse Lyskilders Spektre med Rette bære Navnet Absorptionsspektre, vil fremgaa af det følgende.

84. Lysets Absorption. Ved et Absorptionsspektrum i Almindelighed forstaar man Spektret af hvidt Lys, naar det har passeret et Legeme. Lader man Lyset fra et fast, hvidglødende Legeme trænge igennem et fast, et flydende eller et luftformigt Legeme, og danner man saa et Spektrum af dette Lys, vil det vise sig, at noget af Lyset er absorberet, og den Brøkdelen af det indfaldende Lys, som er absorberet, kan være meget forskellig for de forskellige Farvestraaler; nogle af

Farvestraalerne kunne være helt absorberede, og paa det tilsvarende Sted i Spektret kommer der da Mørke. Man kalder den nævnte Brøkdelen for Absorptionskoefficienten, naar Legemets Tykkelse er 1 cm . Betegnes Absorptionskoefficienten ved α , vil der af den indfaldende Lysmængde trænge Brøkdelen $1 \div \alpha$ igennem Legemet, naar dettes Tykkelse er 1 cm ; hvis Legemets Tykkelse er $n\text{ cm}$, trænger Brøkdelen $(1 - \alpha)^n$ igennem det. Men α er som sagt i Almindelighed forskellig for de forskellige Slags Farvestraaler. Betegnes Intensiteten af det indfaldende Lys ved I_r, I_o, I_g o. s. v. for henholdsvis rødt, orange, gult o. s. v. Lys, og de respektive Absorptionskoefficienter ved $\alpha_r, \alpha_o, \alpha_g$ o. s. v., har man for Intensiteten af det Lys, der er trængt igennem et Legeme, som er $n\text{ cm}$ tykt,

$$I_r (1 - \alpha_r)^n + I_o (1 - \alpha_o)^n + I_g (1 - \alpha_g)^n + \dots$$

Medens vi i næste Paragraf skulle komme lidt nærmere ind paa Absorptionen i faste Legemer og Vædsker, skal her blot nævnes, hvorledes man igennem Forsøg over Absorptionen i Luftarter er kommen til Kundskab om Sollysets Beskaffenhed.

Den egentlige Aarsag til de mørke Fraunhoferske Linier har man nemlig fundet paa følgende Maade. Naar der for Spektroskopets Spalte er anbragt en Natriumflamme, vil man som nævnt i 83 b kun se en gul Linie som Spektrum; anbringer man nu bag Flammen et Drummondsk Kalklys, ser man et kontinuerligt Spektrum, men med en mørk Linie paa det Sted, hvor før den gule Linie var; og vil man saa borttage Natriumflammen, forsvinder den mørke Linie.

Heraf kan man slutte, at Flammen indsuger af Kalklysets Straaler dem, der have samme Brydbarhed som Flammens egne Straaler; denne Lov om Absorption i Luftarter eller Dampe gælder almindelig og kaldes Kirchhoffs Absorptionslov. Den mørke Linie bliver dog ikke helt sort, da Flammen vedblivende udsender sit eget Lys, men den viser sig mørk i Forhold til det øvrige Spektrum, fordi Kalklyset er saa intensivt i Sammenligning med Flammen.

Oprindelsen til de Fraunhoferske Linier er da følgende: Den faste, hvidglødende Solmasse udsender alle Straalearter,

men den Solen omgivende Atmosfære indsuger en Del af dem og netop de Straalearter, Atmosfæren selv udsender. Undersøger man derfor Beliggenheden af de Fraunhoferske Linier og sammenligner dem med Beliggenheden af de forskellige Grundstoffers Liniespektre, kan man komme til Kundskab om, hvilke Stoffer der findes i Solatmosfæren. Man har paa denne Maade fundet, at der er Jærn, Natrium, Magnium, Kobber, Brint o. s. v. i Solens Atmosfære. — Som tidligere nævnt hidrøre nogle af de mørke Linier fra Lysindsugning i Jordens Atmosfære, deriblandt Linierne *A* og *B*, som skyldes Luftens Ilt.

Foretager man lignende Undersøgelser for Fiksstjernernes Vedkommende, kan man ogsaa finde deres Atmosfæres Bestanddele, skønt Fiksstjernerne ere saa langt borte, at de i de stærkest forstørrende Kikkerter kun vise sig som Punkter. Atmosfærerne indeholde alle Brint, men ere iøvrigt noget forskellige; i ingen af dem har man fundet andre Stoffer end dem, der findes paa Jorden.

Maanen og Planeterne give Spektre med de samme Fraunhoferske Linier, som Sollysets Spektrum indeholder; deres Lys er tilbagekastet Sollys. Tilstedeværelsen af flere Linier røber Eksistensen af en Atmosfære omkring Planeterne (Saturn og Uranus).

Spektralanalysen er grundlagt af Kirchhoff og Bunsen (fra 1860 af).

85. Legemernes Farver. Den Farve, med hvilken et gennemsigtigt Legeme viser sig i Dagslyset, fremkommer ved, at kun en Del af Sollysets Farvestraaler slippe igennem det, medens Resten bliver indsuget, og Legemets Farve er da Blandingsfarven for det Lys, der er trængt igennem. Vil man undersøge, hvilke Straaler et gennemsigtigt Legeme lader slippe igennem, kan man lade Sollyset eller andet hvidt Lys gaa igennem Legemet og derefter trænge ind i et Spektroskop. Gennemsigtige Vædsker, der skulle underkastes en saadan Undersøgelse, maa indesluttet i ufarvede Glaskar med parallelle Sider.

Som Eksempler skal her kun nævnes, at en Opløsning af Bladgrønt (Klorofyl) i Sprit viser sig at indsuge fuldstændig den Del af det røde Lys, som ligger nærmest det orange-farvede,

noget orange og gult samt for en stor Del det blaa og violette; Resten af Farverne give ved Forening Klorofylets grønne Farve. Endvidere: Opløsninger af Blod, selv naar dette er tilstede i smaa Mængder, give sig tilkende ved et karakteristisk Spektrum, der paa en bestemt Maade forandres, naar Blod har optaget Kulilte. Blodpletter paa Tøj og Kulilteforgiftning kan altsaa konstateres ved en saadan Undersøgelse.

Lægger man to forskellig farvede Glasplader, f. Eks. en rød og en blaa, sammen, vil man næsten Intet kunne se igennem dem; træffe Lysstraalerne nemlig først det røde Glas, lader dette hovedsagelig kun de røde Straaler slippe igennem, og disse blive derpaa indsugede i det blaa Glas. Pladerne kunne være svagt gennemstraalelige for enkelte Straalearter, og lidt Lys vil da kunne trænge igennem de sammenlagte Plader. — Saaledes gaar det ogsaa, naar to forskelligfarvede Vædsker blandes; Blandingen bliver mindre gennemsigtig end dens Bestanddele.

Den Farve, med hvilken et uigennemsigtigt Legeme viser sig i Dagslyset, hidrører fra, at Legemet fortrinsvis tilbagekaster nogle af de i Sollyset forekommende Farvestraaler og indsuger andre; Legemets Farve er da de tilbagekastede Straalers Blandingsfarve. Et grønt Legeme tilbagekaster saaledes fortrinsvis de grønne Straaler eller Straaler, der have grønt til Blandingsfarve. Vil man undersøge, hvilke Farvestraaler et Legeme tilbagekaster, og hvilke det indsuger, kan man f. Eks. i et mørkt Værelse lade Sol-spektret falde paa en hvid Skærm og dække den ene Halvdel med det paagældende Legeme, idet Delingen foregaar paatværs af Farverne; paa de Steder af Legemet, hvor Lysstraalerne blive helt indtagne, er der da aldeles sort, paa Steder, hvor de blive stærkt tilbagekastede, er der omtrent lige saa lyst som lige ud for paa den hvide Skærm. Er Legemet f. Eks. mørkeblaat, mangler den røde og den gule Farve ganske. — En lidt anden Fremgangsmaade ved Undersøgelsen er den at undersøge det fra Legemet tilbagekastede Lys spektroskopisk.

Lader man Legemer, der i Dagslyset vise forskellige Farver, belyses af enkeltfarvet Lys, f. Eks. af den gule Flamme fra en Spritlampe, naar der holdes et Stykke Kogsalt deri,

ere Legemerne enten gule eller sorte. Et Legemes Farve er altsaa afhængig af Legemets og af det derpaa faldende Lys's Beskaffenhed.

Et Legeme er hvidt, naar det tilbagekaster alle Sollysets Farvestraaler i betydelig Mængde og i samme Forhold; tilbagekaster Legemet dem vel i nogenlunde samme Forhold, men i ringere Grad, er Legemet graat. Et Legeme er sort, naar det ikke tilbagekaster nogen af Farvestraalerne, men indsuger dem alle. — Træffes en hvid Flade kun af blaåt Lys, viser den sig blaa, i grønt Lys viser den sig grøn o. s. v.

Sollys indeholder blaåt og violet Lys i Overskud, Lampelys rødt og gult, hvorimod der her kun er faa blaa og næsten ingen violette Straaler; denne Forskel giver Anledning til det ejendommelige Farveskær, man iagttager, naar et Værelse oplyses af en Lampe, og der tillige trænger lidt Dagslys ind; en hvid Flade, der træffes af Dagslyset, vil nemlig synes noget violet i Forhold til hvide Flader, der ikke træffes deraf. Ved Lampelys forveksles let blaåt og grønt Tøj; dette ligger i at blaåt Tøj tilbagekaster foruden blaåt Lys tillige noget grønt Lys, og grønt Tøj tilbagekaster noget blaåt Lys foruden hovedsagelig grønt Lys; da Lampelys nu næsten intet blaåt Lys indeholder, men meget grønt, saa kommer det blaa Tøj til at vise sig med grønligt Skær.

Det er en Betingelse for, at et Legeme har Indflydelse paa den Farve, med hvilken det viser sig, at det kaster Lyset spredt tilbage. Ved den regelmæssige Tilbagekastning (Spejling) er det tilbagekastede Lys af samme Farve som det indfaldende. Anderledes derimod ved den spredte Tilbagekastning; det maa her antages, at Lyset trænger lidt indenfor Overfladen, og at her i Legemets yderste Lag noget Lys bliver absorberet, andet tilbagekastet. At dette er saa, kunne vi ogsaa slutte deraf, at jo blankere et Metal poleres, desto svagere bliver dets egen Farvetilkendegivelse. Fra en rød Glasplades Forside tilbagekastes der hvidt Lys, naar Sollys falder paa den, men som det tidligere er nævnt, er det kun en lille Procentmængde, der tilbagekastes, medens Resten trænger ind i Glasset, og her finder saa Absorptionen af de ikke røde Straaler Sted; at Glaspladen viser sig rødlig i tilbagekastet Lys (foruden i gennem-

gaaende Lys) hidrører fra Tilbagekastning af røde Straaler inde i Glasset, og disse røde Straaler ville i Forening med hvidt fra Forsiden give den røde Tone.

Roterende Skiver kunne i Kraft af det, der i det Foregaaende er nævnt om Aarsagerne til Legemernes Farver, benyttes til Forsøg over Farveblandinger.

Inddeler man saaledes en cirkelrund Skive i 7 Sektorer og bemaler dem med Farver som dem, der forekomme i Sol-spektret, vil man, naar Skiven sættes i hurtig Rotation, se den med en graalighvid Farve, fordi Øjet i enhver Retning modtager de forskellige Farvestraaler saa hurtig efter hinanden, at Farveindtrykkene smelte sammen og give Blandingsfarven. Skiven bliver ikke klar hvid, fordi man ikke faar alle de mange Farvenuancer i Spektret med.

Deler man en Skive i en Række Sektorer og bemaler dem afvekslende med to komplementære Farver, vil den, naar den sættes i hurtig Rotation, vise sig graalighvid.

86. Brydningsforholdets Bestemmelse. Naar et Legemes Brydningsforhold skal bestemmes, kan man bære sig ad paa følgende Maade: Legemet tildannes som et Prisme, og man benytter Formlen

$$n = \frac{\sin \frac{a+p}{2}}{\sin \frac{p}{2}},$$

hvor p er den brydende Vinkel, a Afvigelsen i Hovedstillingen. Bæge disse Vinkler maales med Spektrometret (81). Bestemmelsen af p er omtalt S. 92 øverst. Hvad a angaar, saa er den jo forskellig for de forskellige Farvestraaler, fordi n er forskellig. Vil man blot bestemme en vilkaarlig Farvestraales Brydningsforhold, kan man benytte homogent (monokromatisk) Lys, f. Eks. Lyset fra en Natriumflamme, og finde den minimale Afvigelse a for dennes gule Linie og saa beregne n af Formlen. Vil man derimod have en Række Brydningsforhold bestemte for det samme Legeme, kan man benytte Sollys og saa bestemme a og derefter beregne n for en Del Fraunhoferske Linier; man bestemmer saa egentlig Brydningsforholdet for det Lys, der mangler paa disse Steder.

I alle Tilfælde bestemmes α derved, at Kikkerten drejes, indtil Hovedstillingen for den paagældende Linie er naaet, idet man i Kikkerten altid holder Billedet af Linien over eet med Traadkorsets lodrette Traad; at Hovedstillingen er naaet, kendes paa, at en Drejning af Prismet, baade til den ene og til den anden Side, nødvendiggør en Drejning af Kikkerten bort fra Lysstraalernes oprindelige Retning, naar man stadig vil fastholde Billedet af Linien i Kikkerten. Man aflæser da Kikkertens Stilling, borttager Prismet og bestemmer saa den Drejning, som maa foretages med Kikkerten, for at Lyset fra Spalten kan træde direkte ind i Kikkerten; denne Drejnings Størrelse er lig α .

Vædskers saavelsom Luftarters Brydningsforhold bestemmes, idet de indesluttet i prismeformede Beholdere, dannede af planparallelle Glasplader, hvilken Begrænsning ingen Retningsforandring frembringer. — Luftarternes Brydningsforhold varierer saaledes med Temperaturen og Trykket, at $\frac{n-1}{d}$, hvor d er Vægtfylden, er konstant for samme Luftart. Prismet, hvori Luftarten er indesluttet, er derfor ved et Rør sat i Forbindelse med en Trykmaaler; igennem et andet Rør kan der pumpes Luft ud og ind. Bestemmelsen af den atmosfæriske Lufts Brydningsforhold sker ved at anstille Forsøget med en lufttom Beholder. — De tidligere nævnte Talværdier for enkelte Stoffers Brydningsforhold ere Gennemsnitsværdier.

Paa en helt anden Maade, nemlig ved Benyttelse af den fuldstændige Tilbagekastning, bestemmer man ofte Vædskers Brydningsforhold, men Metoden kan ogsaa godt anvendes paa faste Legemer. Man anvender et Prisme (ABC i Fig. 112) og bringer under dette blot en Draabe af en

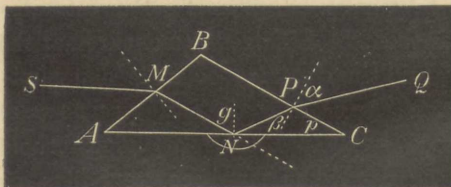


Fig. 112.

Vædske. Man sender saa Lys SM imod Prismet; SM brydes ind i Prismet i Retningen MN , og det træder da som Regel ind i Draaben; men hvis denne er svagere brydende end Prismesubstansen, saa vil Lyset for en bestemt Indfaldsvinkel g blive kastet

fuldstændig tilbage, gaa over til Fladen BC og her blive brudt ud i Luften (ved P) i en Retning PQ . Man skal nu maale PQ 's Vinkel med Indfalds-

loddet i P , altsaa den Vinkel, som paa Figuren er betegnet med α ; endvidere skal man kende Prismets brydende Vinkel p (ved C) og Prismets Brydningsforhold n_1 . Kaldes Draabens søgte Brydningsforhold n , har man (se nederst S. 43)

$$n_1 \sin g = n \sin 90^\circ = n,$$

og da det af $\triangle NPC$ ses, at $g = p + \beta$,

hvor β er Straalen NP 's Vinkel med Indfaldsloddet, og man har

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_1,$$

kan β findes af dette Udtryk, derefter g af den forrige Ligning og saa endelig n af den første Ligning.

87. Lyse og mørke Varmestraaler. Naar man fører et fint Thermometer — Differentialthermometer, Thermomultiplikator eller endnu bedre et Bolometer*) — ind i de af et Prisme spredte Straaler, finder man, at der sker en Opvarmning, ulige paa de forskellige Steder af Spektret; Lysstraalerne ere altsaa ogsaa Varmestraaler. Benytter man Sollyset, ser man, at de Fraunhoferske Linier vise Mangel paa Varme, ligesom de vise Mangel paa Lys. Men ogsaa udenfor Lyspektret paa den røde Side af Spektret finder der en Opvarmning Sted, saa at Lyskilden udsender Varmestraaler, der ikke ere Lysstraaler, der altsaa ikke formaa at fremkalde Indtryk i Øjet, og disse Varmestraaler have en mindre Brydbarhed end Lysstraalerne; man kalder dem mørke Varmestraaler i Modsætning til de lyse Varmestraaler. Da Glas indsuger en stor Del af de mørke Varmestraaler, bliver det mørke Varmespektrum eller, som det efter Beliggenheden ogsaa kaldes, det ultrarøde Spektrum kun kort, naar man spreder Straalerne ved Hjælp af et Glasprisme; Stensalt lader derimod de mørke Varmestraaler gaa saa at sige usvækkede igennem, og et Varmespektrum, der giver fuldstændig Oplysning om de Straaler, et Legeme udsender, frembringes derfor ved Hjælp af et Stensaltprisme; benytter man til Forsøget tillige Linser, maa ogsaa disse være af Stensalt. Amerikaneren Langley har med Bolometret studeret

*) En fin Metaltraad, der er indskudt i en elektrisk Ledning tilligemed et følsomt Galvanometer; ved Opvarmning af Traaden forøges dens Modstand, og formindskes altsaa Strømmens Styrke, og denne Strømforandring iagttages paa Galvanometret.

Varmespektrene og derigennem bestemt den Energi, som Straalerne fra et Legeme indeholde. I Solspektret findes Maksimum af Energi at være i det gule.

Man finder ved saadanne Undersøgelser, at et Legeme ved almindelig Temperatur udsender mørke Varmestraaler af ringe Brydbarhed; efterhaanden som det opvarmes mere og mere, kommer der Straaler til af stedse større Brydbarhed, og samtidig forøges Mængden (Intensiteten, Energien) af Straalerne med ringere Brydbarhed. Opvarmet til en vis Temperatur begynder Legemet at gløde, altsaa at udsende Lys, og Draper opstillede den Lov, at alle Legemer begynde at gløde ved en og samme Temperatur, nemlig 525° ; dette har dog ikke vist sig at slaa til. Først er Legemet rødglødende, men ved yderligere Opvarmning kan det blive hvidglødende; der kommer flere og flere Lysstraaler til, men samtidig forøges Mængden af de Straalearter, Legemet alt udsendte; der gives ingen af de almindelige Lyskilder, hvor de lyse Varmestraaler have Overhaand over de mørke; selv af Straalerne fra Solen, som antages at have en Temperatur paa omkring 7000° , ere cr. 45 pCt. lyse, cr. 55 pCt. mørke. I Solens mørke Varmespektrum er der ogsaa uvirksomme Steder svarende til de Fraunhoferske Linier i det lyse Spektrum.

Det laa nær at antage, at et Legeme, naar det begynder at gløde, udsender røde Straaler, og at saa efterhaanden de orange, gule o. s. v. komme til, efterhaanden som Legemet bliver varmere, indtil de violette ere komne med, naar Legemet er hvidglødende. Ganske saaledes ere Forholdene dog ikke; ved at eksperimentere i et absolut mørkt Værelse har man fundet, at et Legeme udsender Lysstraaler, før det begynder at gløde, og dette Lys har en svag graalig Farve. Ved at analysere det Lys, som det udsender, finder man, at det begynder med at udsende grønt Lys, og saa kommer efterhaanden bægge Ender af Spektret med, og det Sted, hvor der er Maksimum af Energi, rykker samtidig fra det grønne henimod den røde Ende; ved lys Rødglødhede (700°) strækker Spektret sig ud over Linien *F*, ved Hvidglødhede (1200°) ud over *H*. Øjet er ikke lige let modtageligt for de forskellige Farvestraaler; mest følsomt er det for grønt Lys.

Efterfølgende Talværdier vise, hvor lille en Del af den samlede Energi i Straalerne der findes i Lysstraalerne fra vore almindelige Lysgivere:

	elektrisk Buelys omkring	10 pCt.
almindelig elektrisk Glødelampe	—	6 -
Magniumlys	—	13 -
Gas- og Lampelys	—	1½ à 2 -

Den mest økonomiske Lysgiver, har Langley fundet, er en Lysbille (*Pyrophorus noctilucus*), idet den ingen kendelige mørke Varmestraaler udsender og netop de Lysstraaler, som bedst paavirke Øjet; elektriske Udladninger i stærkt fortyndet Luft bringe denne til at udsende Straaler, af hvilke omtrent en Tredjedel ere lyse.

Den Forandring i et glødende Legemes Spektrum, som følger med forskellige Temperaturer af det glødende Legeme, har man benyttet til en Metode til Maaling af høje Temperaturer.

Forskellig farvede Lysgivere undersøges med Hensyn til Lysstyrke derved, at man danner deres Spektre og sammenligner Styrken af de forskellige Farver, hver for sig; Instrumentet, der bruges hertil, kaldes et Spektro-Fotometer.

Det nærmere om Straalevarmen behandles under Varmelæren.

88. Straalernes kemiske Virkninger. Under Lysets Indvirkning kan der finde molekulære Omlejringer Sted, hvorved et Legeme gaar over fra een Modifikation til en anden; saaledes omdannes det giftige, gule Fosfor af Lyset langsomt til det ikke giftige, røde Fosfor; Svovl, der er opløseligt i Svovlkulstof, taber i Opløselighedsevne ved at udsættes for Lyset; Ilt omformes af Lyset ved Tilstedeværelse af forskellige organiske Stoffer til Ozon, der har en blegende Virkning (et nægte farvet Stof paavirkes ikke af Lyset, naar det er anbragt i et lufttomt Rum). — Det ukrystallinske Metal Selen bliver af Solstraalerne forvandlet til krystallinsk, og dette viser den Mærkelighed, at det leder den elektriske Strøm bedre, medens det belyses, end medens det ikke belyses; dette Forhold er benyttet i den saakaldte Fotofon: I en elektrisk Ledning er

paa Modtagerstedet indskudt en almindelig Telefon, paa Af-senderstedet en tynd Plade af krystallinsk Selen; paa denne falder stærkt Lys, som er tilbagekastet fra et tyndt Spejl, dannet af et forsølvet Glimmerblad. Taler man nu imod dette Spejl, kommer det i Svingninger, og derved veksler Belysningen af Selenet periodisk med Svingningerne; dette foraarsager Vekslinger i den elektriske Strøms Styrke, og ved disse kommer Telefonen til at lyde. Talen er altsaa forplantet fra et Sted til et andet ved Hjælp af Lys og Elektricitet.

Dernæst kan Lyset frembringe Sønderdeling af sammen-satte Stoffer og omvendt ogsaa bringe Stoffer til at træde i kemisk Forbindelse med hinanden.

Salpetersurt Sølv (Helvedessten) spaltes saaledes af Lyset, idet der udskilles Sølv som et sort Pulver, især naar der er Stoffer tilstede, som kunne træde ind i Sølvets Sted (organiske Stoffer). Paa lignende Maade forholde sig Klor-, Jod- og Bromsølv. Vil man vide Besked om, hvilke Straalearter der navnlig fremkalde disse Virkninger, kan man lade Solspektret falde paa et Stykke Papir, som i Mørke er blevet befugtet med en Opløsning af et af de nævnte Sølvsalte; det viser sig da, at de violette Straaler virke stærkest, men tillige, at der er en Virkning udenfor Lysspektret paa det violettes Side; dette tyder paa, at der gives Straaler med udelukkende kemisk Virkning, og dette mørke kemiske Spektrum kaldes efter Beliggenheden det ultraviolette Spektrum. For dog at faa alle Straaler i dette med maa man anvende Prisme og Linser af Kvarts, der ikke absorberer disse Straalearter, hvad derimod Glas for en Del gør. Der gives i det ultraviolette Spektrum Steder, som ere kemisk uvirksomme, og som altsaa svare til de Fraunhoferske Linier, og der er heller ingen kemisk Virkning paa de Fraunhoferske Liniers Plads. Holder man Lysspektret borte, kan man se det ultraviolette Spektrum med en svag lavendelgraa Farve.

Det er de Straaler, der absorberes af et Stof som de nævnte, der kunne fremkalde kemiske Sønderdelinger; men ved at sætte Stoffer til, som absorbere andre Straalearter, kan man ogsaa faa disse til at virke sønderdelende paa det første Stof; ved at blande de nævnte Sølvsalte med røde, gule og

grønne Farvestoffer kan man faa ogsaa de røde, gule og grønne Straaler i Sollyset til at virke sønderdelende; saadanne Stoffer kalder man Sensibilisatorer.

Paa de her nævnte Virkninger grunder sig Fotografien. Man benytter et Camera obscura (48), hvis Linse er en S sammensætning af Linser, der er konstrueret saaledes, at den samler de kemisk virksomme Straaler i samme Plan som Lysstraalerne; naar der er indstillet saaledes, at Billedet af den Genstand, der skal fotograferes, dannes skarpt paa den matte Glasplade, erstattes denne af den lysfølsomme Plade, hvilken er en Glasplade, der paa den ene Side er beklædt med en Hinde af Gelatine, hvori der er Bromsølv. Ved en lang Tids Belysning vilde et saadant Salt blive reduceret, ved kort Tids Belysning (Eksponering) faar det Evnen til lettere at lade sig reducere; udsættes Pladen altsaa kun et Øjeblik for Straalerne fra Genstanden, kan Reduktionen lettest foregaa paa de Steder, hvor det stærkeste Lys falder, og denne Reduktion foretages nu ved Hjælp af et svagt Reduktionsmiddel, af hvilke man har mange, f. Eks. en Opløsning af et Jærnforiltesalt, i hvilken Pladen lægges en halv Snes Minutter eller mere; Pladen bliver ved Reduktionen (Fremkaldelsen) mørkest paa de Steder, der have været stærkest belyste, og man fjerner derpaa det Sølvsalt, som ikke er blevet reduceret, ved at lægge Pladen i svovlundersyrlig Natron et Kvarterstid; derved fikseres Billedet, og man har nu faaet det negative Billede. Lægges dette i Dagslyset ovenpaa et Stykke Papir, der er gennemtrukket med Klor sølv, faas herpaa det positive Billede, der bliver lyst under det negative Billedes mørke Steder, hvilke jo svare til de lyse Steder paa Genstanden. Man giver det positive Billede en smuk graalig violet Farve i Stedet for den mindre skønne brune ved at lade Billedet ligge i nogen Tid i en Guldopløsning (Tonebad).

Den vigtigste kemiske Virkning har Lyset i Plantevæksten. Planterne optage nemlig igennem deres Blade Kulsyre fra Luften, og denne Kulsyre spaltes ved Sollysets Indvirkning, idet Planten beholder Kulstoffet, medens der frigøres Ilt; det er de røde og gule Straaler, som absorberes af Plantens Klorofyl (se Side 96 og 97), der fremkalder dette Fænomen. I Mørke

sker det omvendte: Planten kan da ikke optage Kulstof, men noget af dens Kulstof træder tværtimod i Forbindelse med Luftens Ilt og danner Kulsyre, som »udaandes«.

Som Eksempel paa, at Lyset ogsaa kan befordre Dannelsen af kemiske Forbindelser, skal nævnes, at naar en Blanding af Klor og Brint udsættes for Dagslyset, forene de sig til Klorbrinte; udsættes Vand, der har optaget Klor i sig, for direkte Sollys, forbinder Kloret sig endog med Vandets Brint, og der frigøres Ilt.

89. Fluorescens og Fosforescens. Med Navnet Fluorescens betegner man den Egenskab, som nogle Stoffer vise, at de ved at udsættes for Bestraaling faa Evnen til at udstraale Lys, uden at de ere ophedede til en saa høj Temperatur, at de af den Grund lyse, og uafhængig af det Lys, som bliver tilbagekastet fra Legemet. Det er, som det nedenfor skal blive paavist, det Lys, der absorberes, som fremkalder Fænomenet, og det udstraalede Lys har hyppigst en mindre Brydbarhed (større Bølgebredde) end det absorberede Lys.

Petroleum er en svagt gullig, gennemsigtig Vædske, og den gullige Farve hidrører fra, at Petroleum absorberer en Del af de violette Straaler; men falder der Sollys paa Petroleum i en Glasbeholder, udsender det et smukt blaåt Lys. For nu at faa at vide, hvad der giver Anledning hertil, kan man kaste et Solspektrum hen paa Vædsken — helst med et Kvartsprisme — og man vil da se, at den blaa Farve slet ikke viser sig paa de Steder, hvor det røde, det orangefarvede o. s. v. lige til det violette falder, men i den violette og den ultraviolette Del af Spektret optræder den blaa Farve, og for saa vidt bliver den ultraviolette Del af Spektret altsaa synlig, og man kan opdage Fraunhoferske Linier deri. Petroleum absorberer nu netop de violette og de ultraviolette Straaler, og det er altsaa det absorberede Lys, der foranlediger Udstraalingen af blaåt Lys, altsaa af Lys med mindre Brydbarhed; dette fremgaar ogsaa klart deraf, at Sollys, som er gaaet igennem et Lag af Petroleum, ikke formaar at frembringe Fluorescens i noget andet Petroleum. Det blaa Lys er forøvrigt ikke homogent, thi betragter man det igennem et Prisme, saa kan man deri skelne alle det almindelige Solspektrums Farver.

Andre Eksempler paa Fluorescens ere følgende: En Opløsning af Bladgrønt (Klorofyl) i Sprit eller endnu bedre i Æther fluorescerer med en rødbrun Farve, det gule Uranglas med en lysegrøn, den vandklare Opløsning af svovlsur Kinin himmelblaåt, en blaa Lakmusopløsning orange, et vandigt Udtræk af Barken paa Hestekastanie lyseblaåt, Magdalarødt gult. Flusspath, som er Fluorkalcium, viser sig i Sollys med en blaa Farve, og Fænomenet har faaet Navn efter dette Legeme.

Da det elektriske Lys er rigt paa violette og ultraviolette Straaler, egner det sig godt til Fremkaldelsen af disse Fænomener.

Fosforescens. Med dette Navn betegner man den Egenskab hos nogle Legemer, at de efter at have været udsatte for Bestraaling i nogen Tid

vedblive at lyse, naar de bringes ind i et mørkt Rum; ogsaa her er det udsendte Lys mindre brydbart end det Lys, der ved at falde paa Legemet foranlediger Udstraalingen. Diamanter, Kalkspath, forskellige Svovlmetaller m. fl. vise en saadan Fosforescens. At der ved Fosforescensen muligvis foregaar kemiske Forandringer i Stoffet, gøres sandsynligt ved den Omstændighed, at naar dette er holdt op med at lyse, kan en Opvarmning fremkalde Fosforescensen paany.

Naar ultrarøde Straaler falde paa et Legeme, der fosforescerer, ophører Lysningen; dette anvender man til paa en Maade at gøre det ultrarøde Spektrum synligt, idet man lader et saadant Spektrum falde paa et fosforescerende Legeme; Lysningen holder da op, hvor Straalerne falde, og de uvirksomme Steder (Fraunhoferske Linier) vedblive at lyse; der dannes altsaa et negativt Billede af dette Spektrum.

Naar elektriske Udladninger ere gaaede igennem den overordentlig stærkt fortyndede Luft i Geisslerske Rør, vedbliver Glasset ofte at lyse kort Tid efter.

X. Lysets Hastighed.

90. Ole Rømers Metode. Den første, som har søgt at bestemme Lysets Hastighed, er Danskeren Ole Rømer (1675). Hans Fremgangsmaade er følgende. Af Jupiters Drabanter ere de tre saa nær ved Jupiter, at de under deres Omløb træde ind i Jupiters Kærneskygge. Lad os antage, at Jorden (T , Fig. 113) befinder sig imellem Solen og Jupiter — denne siges at være i Opposition — og man iagttager da de Øjeblikke,

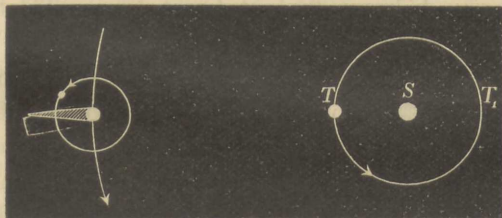


Fig. 113.

da man ser den Drabant, der er nærmest ved Jupiter, træde ind i Skyggen, og da den næste Gang ses at træde ind i Skyggen; den imellem disse to Øjeblikke forløbne Tid (cr. 42 Timer) er da lig Drabantens Omløbstid, og man kan saa regne sig til, i hvilke Øjeblikke Drabanten fremtidig skulde træde ind i Skyggen. Men undersøger man Forholdene et godt halvt Aar senere, naar Solen staar imellem Jupiter og Jorden (T_1),

— Jupiter siges da at være i Konjunktion — saa finder man, at Drabanten træder cr. $16\frac{1}{2}$ Minut, altsaa cr. 1000 Sekunder senere ind i Skyggen, end Beregningen angav, og dette hidrører fra, at Lysets Vej fra Drabanten til Jorden nu er længere end før; de cr. 1000 Sek. ere altsaa den Tid, som Lyset bruger om at gennemløbe Jordbanens Diameter; da denne er godt 40 Millioner Mil, bliver Lysets Hastighed lidt over 40000 Mil i Sekundet.

91. Bradley's Metode (1728). Denne hviler paa det Fænomen, der benævnes Aberrationen, og som bestaar i, at en Fiksstjerne saa godt som aldrig ses paa det Sted, hvor den i Virkeligheden befinder sig, afset fra den Flytning, som Refraktionens forarsager (35); og det er saaledes, at en Fiksstjerne, som sidder i Ekliptikas Pol, synes at bevæge sig i en lille Cirkel, hvis sfæriske Radius er $20\frac{1}{4}''$ og at gennemløbe denne nøjagtig i 1 Aar; en Fiksstjerne, som sidder i selve Ekliptika, synes i Løbet af 1 Aar at gaa een Gang frem og tilbage i en Bue paa Ekliptika af Længde $2.20\frac{1}{4}''$; og en Fiksstjerne, som sidder et Sted imellem Ekliptika og dens Pol, synes at beskrive en Ellipse, hvis store Akse er parallel med Ekliptika og lig $2.20\frac{1}{4}''$, medens dens derpaa vinkelrette lille Akse er desto mindre, jo nærmere Stjernen er ved Ekliptika, og altid lig med den store Akse Gange sinus til Sjernens Bredde. Dette Fænomen hidrører fra, at Lyset bruger Tid til at forplante sig frem igennem Rummet.

For at lette Forstaaelsen ville vi anvende følgende Betragtning. Lad $ABCD$ forestille Ruden i en Vogn, og lad os antage, det regner i Retningen EF . En Regndraabe, der passerer Overkanten BC af Vinduet i Punktet E , vil da træffe Underkanten i Punktet F , hvis Vognen staar stille. Men kører Vognen i den ved Pilen angivne Retning, saa vil Draaben, som kom tilsyne i E , træffe Underkanten AD i et Punkt G , der ligger tilbage for F ; Vognen er da kørt Stykket GF frem, medens Draaben faldt Vejen EF .

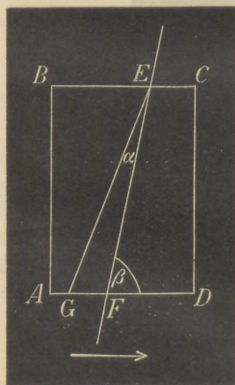


Fig. 114.

Den, der sidder inde i Vognen, vil da synes, at det regner i Retningen EG , at altsaa Draaben kommer fra et Sted paa Himlen, der ligger fremefter for det virkelige Sted i Bevægelsens Retning. Den tilsyneladende Retningsforandring er bestemt ved $\angle GEF = \alpha$, og idet Vinklen imellem Draabens og Vognens Bevægelsesretning betegnes med β , har man

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{GF \sin \beta}{EF + GF \cos \beta}.$$

Faldt Regnen lodret ($\beta = 90^\circ$), faas den største Retningsforandring, bestemt af

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{GF}{EF};$$

$\beta = 0$ giver $\alpha = 0$.

Disse Resultater kunne vi nu overføre paa det Fænomen, som nys er omtalt; Lyset fra Fiksstjernen træffer Jorden, der gaar rundt omkring Solen i en Bane, der meget nær har Cirkelform. Jorden svarer da til Vognen, Lyset til Regnen. For Iagttageren paa Jorden synes Stjernen at befinde sig fjernet fra sin virkelige Plads en Vinkel α (Aberrationsvinklen) i den Retning, hvori Jorden bevæger sig, og α er bestemt af Udtrykket

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v \sin \beta}{V + v \cos \beta},$$

hvor v er Jordens Hastighed, V Lysets Hastighed og β Vinklen imellem Retningen fra Jorden til Stjernen og Jordens Bevægelsesretning; v er i Sammenligning med V saa overordentlig lille (4 Mil i Sekundet), at man kan skrive

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{V} \sin \beta.$$

I Fig. 115 være S Solen og $ABCD$ Jordens Bane; Retningerne fra Solen og fra Jorden op til en Fiksstjerne F ere indbyrdes parallelle paa Grund af Stjernens uhyre Afstand. Naar F ikke netop er i Ekliptikas Pol, i hvilket Tilfælde de nævnte Retninger ere vinkelrette paa Ekliptikas Plan, saa forandrer Vinklen β sig under Jordens Bevægelse rundt i sin Bane, og to Gange bliver den 90° , nemlig i de to Punkter (A og C), hvor Banen overskæres af et Plan igennem Solen og Fiksstjernen vinkelret paa Ekliptikas Plan; naar Jorden er

i disse Punkter — og det sker jo med et halvt Aars Mellemrum — synes Stjernen forskudt et Stykke paa Himlen parallelt

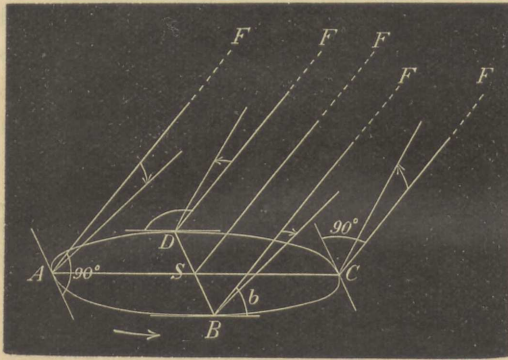


Fig. 115.

med Ekliptika af en Størrelse α , som er bestemt

ved $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{V}$. I

de to Punkter, B og D , som ligge midt derimellem, har β sin mindste og sin største Værdi, nemlig, naar man med b betegner Stjernens

Bredde, henholdsvis b og $180^\circ - b$, og da synes Stjernen forskudt henholdsvis nedefter mod Ekliptika og opefter mod

Ekliptikas Pol en Vinkel α , bestemt af $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{V} \sin b$, α proportional med sinus til Bredden. Medens Jorden gaar rundt i sin Bane, synes Stjernen altsaa altid forskudt lidt ud fra sin Plads og disse tilsyneladende nye Stillinger danne den ovenfor nævnte Ellipse, hvis Centrum er Stjernens virkelige Sted.

Observationer give $20\frac{1}{4}''$ for den største tilsyneladende Flytning, og man kan da beregne Lysets Hastighed af Udtrykket

$$V = \frac{v}{\operatorname{tg} 20\frac{1}{4}''}.$$

Den Værdi, man finder ad denne Vej, er den samme, som findes ved Rømers Metode, og ved de to Metoder, som ville blive omtalte nedenfor.

92. Fizeau's Metode (1849). Straalerne fra Lyskilden q (et Drummondsk Kalklys, et elektrisk Buelys) brydes igennem en Linse, der er anbragt i et Siderør paa en Kikkert L ; Linsen vil forene Straalerne i et Punkt, der ligger paa den modsatte Side af Kikkertens Akse, men paa det Sted, hvor Kikkertens og Siderørets Akser skære hinanden, er der anbragt en planparallel Glasplade s under en Vinkel paa 45° med Akserne paa den i Figuren viste Maade; s vil da tilbagekaste

en stor Del af Straalerne, som komme til at overskære hverandre i et Punkt f , der ligger lige saa langt foran s , som det nys nævnte Foreningspunkt ligger bag s . Straalerne brydes derefter igennem Kikkertens Objektivlinse, der er

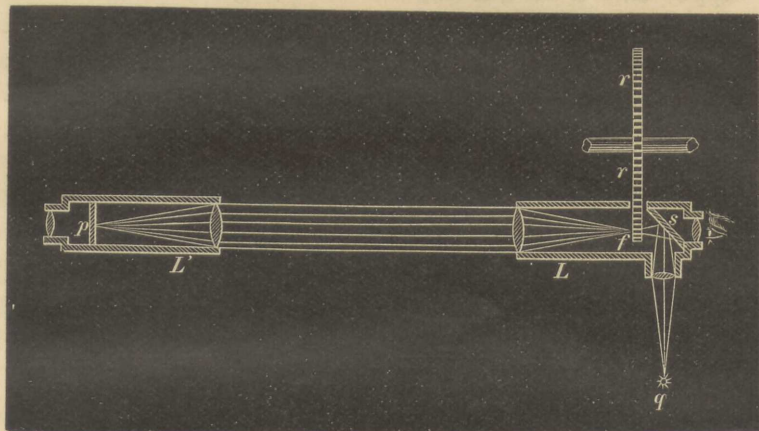


Fig. 116.

anbragt saaledes, at dets Brændpunkt ligger i f , og Straalerne gaa derfor ud i parallelle Baner til et i betydelig Afstand (ved Fizeau's eget Forsøg en god Mil) derfra anbragt andet Kikkertrør L' , hvis Akse ligger i Flugt med L 's Akse; Objektivlinsen i L' samler Straalerne i sit Brændpunkt, og her er opstillet et plant Spejl p vinkelret paa Aksen, saa at Straalerne sendes den samme Vej tilbage, og efter at de have krydset hverandre i f , vil en Del af dem gaa igennem Pladen s , hvorpaa de opfanges af et Okular, igennem hvilket man ser et Billede af f eller altsaa af q . Udfor f er der en Udskæring i Kikkertrøret, og ind igennem denne er der ført et Tandhjul rr med ligestore Tænder og Mellemrum; Hjulet gaar saa langt ind i Røret, at f falder paa en Tands eller et Mellemrums Plads. Tandhjulet kan sættes i Forbindelse med et Tælleværk, paa hvilket man kan aflæse, hvor hurtig Hjulet gaar rundt.

Naar Tandhjulet nu drejes langsomt rundt, ser man en Række af hurtig paa hinanden følgende Glimt, idet Lyset slipper ud af Kikkerten og kommer tilbage igen, hver Gang et Mellemrum befinder sig paa f 's Plads. Forøger man stadig

Omdrejningshastigheden, vil man komme til at se Lyset stadig paa Grund af Lysindtrykkets Varighed, men det bliver tilsløret, og dette desto mere, jo hurtigere Omdrejningen foregaar. Tilsidst forsvinder Lyset helt; dette sker, naar det Lys, som slipper ud i et Mellemrum, ved sin Tilbagekomst træffer den tilstødende Tand. Naar dette er naaet, holdes Omdrejningen konstant, og Hjulet sættes i Forbindelse med Tællerværket; lad os antage, at dette viser et Antal af n Omdrejninger i Sekundet. Er Tændernes Antal p , Mellemrummenes altsaa ogsaa p , maa Hjulet have drejet sig $\frac{1}{2p}$ Omdrejning, medens Lyset gik frem og tilbage; en hel Omdrejning varer $\frac{1}{n}$ Sekund, $\frac{1}{2p}$ Omdrejning altsaa $\frac{1}{2pn}$ Sekund. Er nu Kikkerternes Afstand a , saa gaar Lyset derfor Vejen $2a$ i $\frac{1}{2pn}$ Sekund; i 1 Sekund bliver Lysets Vej altsaa $4pna$, og her kendes p , n og a .

Forøges Omdrejningen til det dobbelte, vil Lyset ses stadig, thi Lysstraaerne, som slippe ud i et Mellemrum, vende tilbage, naar det næste Mellemrum er kommet for; ved en 3 Gange saa hurtig Omdrejning vil Lyset igen forsvinde o. s. v.

93. Faucaults Metode (1850). Ved denne kan Lysets Hastighed bestemmes i et Værelse. Igennem en snæver Spalte

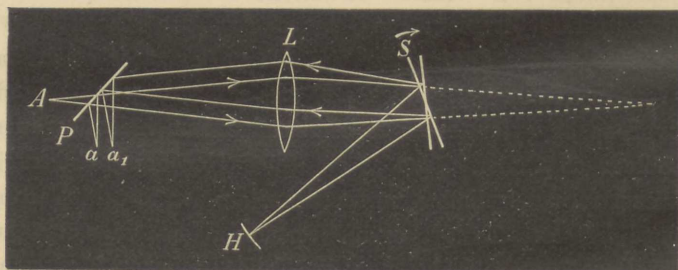


Fig. 116.

A falder der Lys ind fra en kraftig Lyskilde, og dette Lys, som straks indenfor A trænger igennem en planparallel Glaspåse, der er opstillet saaledes, at Lyset træffer den under en Vinkel paa 45° , brydes igennem en Linse L , der samler Straalerne; men før Straalerne forenes, træffe de Spejlet S ,

som tilbagekaster dem til et Punkt, der ligger lige saa langt foran S , som Foreningspunktet vilde ligge bag S , og i dette Punkt er opstillet et Hulspejl H med Centrum i S . Straalerne blive da tilbagekastede af H og gaa samme Vej tilbage til A , men en Del af dem ville, naar de paa Tilbagevejen ramme P , tilbagekastes til a og her danne et Billede af Spalten; dette Billede opfanges nu paa et Glasmikrometer og iagttages igennem en Lupe.

S er anbragt paa en Akse, der maa tænkes tværs paa Figurens Plan, og det kan sættes i en hurtig Rotation om denne Akse. Drejes nu S hurtig rundt, saa vil Lyset, efterat S i een Stilling har kastet det ned imod H , komme tilbage til S i en anden Stilling, fordi det bruger Tid til sin Forplantning; Straalerne ville da kastes tilbage, saaledes som det er vist i Figuren, og de ville af A danne et Billede a_1 , som er forskudt til Siden. Dette Billede dannes jo egentlig af en Mængde hurtig paa hinanden følgende Billeder af A , thi under hver Omdrejning kommer Spejlet S kun een Gang i en saadan Stilling overfor det indfaldende Lys, at det kan sende dette ned imod H , men Billederne følge saa hurtig efter hverandre, at de for Øjet smelte sammen til eet. Jo hurtigere Spejlet roterer, desto større bliver Forskydningen aa_1 , og af dennes Størrelse og Spejlets Rotationshastighed kan aabenbart den Tid beregnes, som Lyset har været om at gaa fra S til H og tilbage igen; deraf faar man saa Lysets Hastighed.

Foucault anbragte imellem S og H et langt Glasrør, som var fyldt med Vand og lukket for Enderne med to planparallelle Glasplader; naar Lyset saaledes forplantede sig igennem Vand i Stedet for igennem Luft, fandtes Forskydningen aa_1 at være større; Tiden, som Lyset var om at gaa fra S til H og tilbage, er altsaa ogsaa større, Lysets Hastighed i Vand derfor mindre end Hastigheden i Luften; den fandtes at være $\frac{3}{4}$ deraf.

94. Medens Rømers og Bradley's Metoder give Lysets Hastighed i det tomme Rum, finder man ved Fizeau's og Foucaults Metoder Lysets Hastighed i Atmosfæren; Forsøgene kunne dog ikke anstilles med en saa høj Grad af Nøjagtighed, at man af dem kan slutte, at Lysets Hastighed i Luften er

lidt mindre end Hastigheden i det tomme Rum, og at Forholdet imellem disse Hastigheder netop er $1:1,000294$; som det er nævnt S. 33, beror jo nemlig Lysets Brydning paa, at Lysets Hastighed er forskellig i de forskellige Stoffer, og Brydningsforholdene staa i omvendt Forhold til Hastighederne. I det tomme Rum forplanter forskellig farvet Lys sig med samme Hastighed; da Forplantningshastigheden i et Legeme er lig Hastigheden i det tomme Rum divideret med Brydningsforholdet, kan man heraf se, at i Legemerne forplante de forskellige Farvestraaler sig med forskellig Hastighed, rødt Lys med den største, violet Lys med den mindste Hastighed. Lysets Styrke har ingen Indflydelse paa Hastigheden.

Hastigheden i det tomme Rum er som nævnt S. 1 meget nær 300000 Kilometer (pr. Sekund).

