

TH. SUNDORPH

FYSIK

for mellemskolen • II

VED F. HJERTING
LEKTOR VED RYSENSTEEN GYMNASIUM

FJORTENDE UDGAVE

GYLDENDAL

1955

FORORD

Det er i år netop 50 år siden udgivelsen af første udgave af Sundorph: Fysik II for mellemskolen. Bogen er i årenes løb kommet i et stort antal udgaver, og dette må vel betyde, at den har en passende størrelse og sværhedsgrad.

Efterhånden har illustrationerne fået et noget gammeldags præg, og de er derfor i den foreliggende udgave blevet helt udskiftet. Jeg har benyttet lejligheden til samtidig at foretage en revision af stoffet, således at jeg har erstattet en del ting, jeg ikke finder så nødvendige, med mere aktuelle ting. Endelig har jeg medtaget en del nyere forsøg. Noget af det stof, som er kommet til, er trykt med petit. Det kan læses i flinke klasser. Derimod behøver det ikke at opgives til mellemskoleeksamen.

Ændringerne i Fysik II er mange. Afsnittet om mekanisk fysik, det sværeste i bogen, er kommet bagefter lydlære og lyslære. I denne rækkefølge bliver afsnittene vist i øvrigt læst de fleste steder. I lydlære gennemgås fortætninger og fortyndinger ved hjælp af et apparat, der er simplere end stemmegafflen, som anvendtes i tidligere udgaver. Den åbne orgelpibe er udeladt.

I lyslære er afsnittene om spektre, farve og strålevarme blevet udvidet en del, da disse afsnit tidligere var meget kortfattede. Fluorescens, der har fået en stor betydning, er også behandlet mere udførligt. Den terrestriske kikkert og teaterkikkerten er udgået og erstattet af prismekikkerten. Foruden det gammeldags røntgenrør gennemgås Coolidgerøret.

I mekanisk fysik er det særlig afsnittene om arbejde og maskiner, som er omarbejdet. Under maskiner er vinden udeladt; den har jo ikke så megen betydning mere.

En del af de i bogen omtalte forsøg står nærmere beskrevet i „Skolefysik“, Gyldendal. Også i Fysisk Tidsskrift, Gjellerups Forlag, kan man finde mange forsøgsbeskrivelser.

Stofmængden, som bogen indeholder, passer godt for 4. mellem, men hvis man, som mange gør det, ønsker at opgive noget kemi til mellemskoleeksamen, kan man læse lydlære i 3. mellem og tage en tilsvarende mængde kemi i 4. mellem.

Til denne omarbejdelse af bogen har jeg fået fuldstændig frie hænder. Herfor vil jeg gerne bringe forlaget min bedste tak.

F. Hjerting.

LYDLÆRE

Lydsvingninger

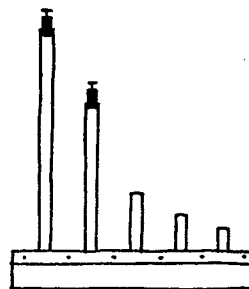


Fig. 1. Lydsvingningsapparatet.

På fotografiet fig. 1 ser vi fem forskellige metalklinger, der foruden er gjort solidt fast*. På de to længste af fjedrene er der foroven anbragt klemskruer. Vi bringer den længste af fjedrene til at svinge frem og tilbage; det går ret langsomt, og man kan følge svingningerne med øjnene. Fjeder nr. 2 svinger adskilligt hurtigere. *Jo kortere fjeder, jo hurtigere svingninger.* Klemskruerne har man anbragt for at få svingningerne tilstrækkelig langsomme. Da de tre sidste metalklinger er så korte, er deres svingninger meget hurtige. Desuden er de ledsaget af en tone. *En lyd opstår i reglen ved, at faste legemer kommer i tilstrækkelig hurtige svingninger.*

Fra det svingende legeme forplanter lyden sig oftest til øret gennem luften, men den kan også gå gennem andre stoffer. Fiskene kan høre i vandet. Et slag på vandrøret kan høres gennem hele huset. Lægger man øret til jorden, kan man høre et tog langt borte.

*) kan f. eks. være nedstrygerklinger.

Stiller vi et lille vækkeur under klokken på luftpumpen og pumper luft ud, dikker det tilsyneladende svagere; er det indstillet til at ringe, lyder klokken ikke så stærkt som ellers. Uret må stilles på tykt tøj for at forhindre lyden i at gå gennem pumpen ud til os. *Lyden kan gå gennem alle stoffer, men ikke lige godt. Den kan ikke gå gennem det tomme rum.*

Vi kan få en forestilling om, hvordan lyden forplanter sig gennem luften ved at iagttage fig. 2. Når fjederen, som figuren viser det, har det største udsving til højre, vil luften F_1 lige til højre for fjederen blive klemmt sammen. Man siger, at der er en *fortætning* på dette sted. Fortætningen bevæger sig bort fra fjederen, og når den er nået til F_2 , har fjederen imens bevæget sig til venstre og tilbage til den højre yderstilling, hvorved der er opstået en ny fortætning ved F_1 .

Mens fjederen havde sit største udsving til venstre, fik luften til højre for den større plads at være på. Man kalder den lufttilstand, som i dette øjeblik herskede, for en *fortynding*. Også fortyndingerne vandrer af sted, og når vi har fortætninger i F_1 og F_2 , har vi en fortynding i f .

Fra fjederen udgår der altså en række fortætninger og fortyndinger. Idet disse rammer ørets trommehinde, bliver denne bragt i svingninger. En fortætning får den til at bue sig lidt indad, en fortynding får den til at svinge udad. Svingningerne forplanter sig gennem det indre øre, hvorefter de når ind til en række tråde, hvori hørenerven ender. Der er ca. 20 000 tråde, og en bestemt tone påvirker kun en enkelt tråd. Gennem hørenerven

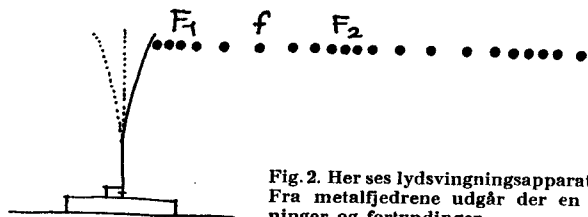
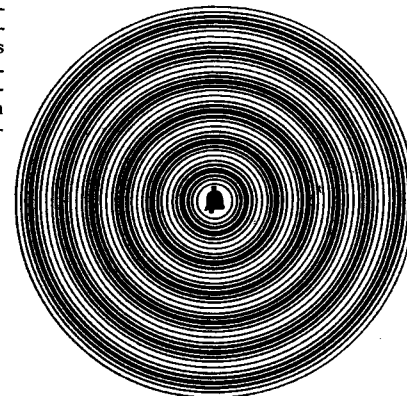


Fig. 2. Her ses lydsvingningsapparatet fra kanten. Fra metalfjedrene udgår der en række fortætninger og fortyndinger.

Fig. 3. På fig. 2 var der for simpelhedens skyld kun tegnet fortætninger og fortyndinger ud langs en ret linie. I virkeligheden udbreder fortætningerne og fortyndingerne sig i alle retninger, som det antydes her på fig. 3. Lydgiveren er en klokke.



sendes en påvirkning til hjernen, og vi opfatter svingningerne som en bestemt tone*.

Da vi satte de to længste af fjedrene i lydsvingningsapparatet i bevægelse, hørte vi ingen lyd. Det har vist sig, at *øret kun får en lydfornemmelse, hvis legemet svinger mindst 16 og højst ca. 20000 gange frem og tilbage i et sekund.*

Hvis alle delene i en lyd giver bruger samme tid til en svingning og stadig svinger på samme måde, kaldes lyden en *tone*. Antallet af svingninger i sekundet kaldes *frekvensen* eller *svingningstallet*.

Vi sætter de tre korte fjedre i lydsvingningsapparatet i bevægelse; hver af dem giver en tone, og den korteste giver den højeste tone. Før fandt vi, at korte fjedre giver de hurtigste svingninger. Der gælder derfor følgende sætning: *jo hurtigere svingninger, jo højere tone.*

Den længste af de to fjedre med klemmeskrue sættes i svingninger med stort udslag. Med et ur måler vi, hvor mange svingninger der er i 10 sekunder; der er måske 25. Dernæst gentager vi forsøget med små udsving. Vi kommer til samme antal. Dette stemmer med, at tone-

* Filmen »Lyden«, som kan fås gennem Statens Filmcentral, viser meget tydeligt, hvordan fortætninger og fortyndinger bevæger sig af sted.

højden for en af de korte fjedre er den samme i begyndelsen med de store udsving, og efterhånden som udsvingene dør hen. Tonen er blot kraftigere i begyndelsen. En kirkeklokke og vor fjeder kan måske give lige høje toner, derimod er *lydstyrken* meget forskellig. Fjederen kan ikke sætte luftdelene i nær så kraftige svingninger som kirkeklokken.

Lydens hastighed

Lydens hastighed er den vejlængde, som en fortætning eller fortynding skrider frem i et sekund; den er meget lille i sammenligning med lysets. Når et lokomotiv er langt borte, ser vi dampen strømme ud af dampfløjten, før vi hører den pibe. Står vi et par hundrede meter fra en maskine, der rammer en pæl i jorden, ser vi hammeren træffe pælen, før vi hører slaget. Man har fundet lydens hastighed i luften ved at affyre en kanon og langt borte iagttage, hvor mange sekunder der forløb fra det øjeblik, man så glimtet, til man hørte knaldet; afstanden mellem kanonen og iagttagelsesstedet var opmålt. *I luften er lydens hastighed ved 0° 332 m i et sekund.* Hastigheden vokser lidt med temperaturen og er ved alm. temperatur ca. 340 m pr. sekund.

Det er *fortætningerne* og *fortyndingerne*, der bevæger sig 332 meter i et sekund. Derimod bliver *de enkelte luftdele* nogenlunde på samme sted; de svinger blot et lille stykke frem og tilbage. Man kan sammenligne forholdene med vandbølger: Man ser bølgetoppe og bølgedale bevæge sig af sted, men de enkelte vanddele bliver nogenlunde på samme sted. Var det ikke sådan, men bevægede vanddelene sig med samme fart som bølgen, kunne en båd ikke ligge og vippe op og ned i bølgegang. Så ville den f. eks. følge med en bølgetop i dennes bevægelse.

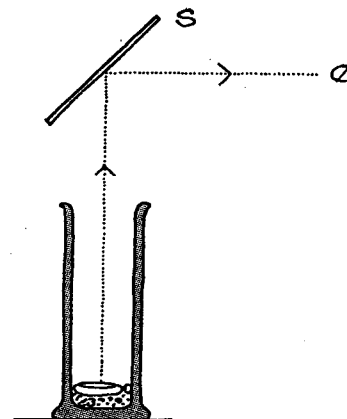


Fig. 4. Lydens tilbagekastning.

Lydens tilbagekastning

Et lommeur lægges på en klump vat nede i et højt cylinderglas, og et spejl anbringes på et stativ i den stilling, som fig. 4 viser, således at man fra Ø kan se uret. Holder vi øret ved Ø, kan vi høre urets dikken. Fjerner vi S, hører vi intet. Faste stoffer kan tilbagekaste lyden, og det sker efter de samme regler, som vi senere skal lære om ved lysets tilbagekastning fra et spejl.

Ekkoet fremkommer ved, at lyden kastes tilbage fra en mur, en klippe eller lignende i passende stor afstand fra lyd giveren. Hvor langt må man stå fra muren, hvis man hører ekkoet gentage en stavelse et sekund efter, at den er udtalt?

Er afstanden til muren meget mindre, når lyden tilbage, inden man er færdig med at udtale stavelsen. Befinder man sig i en stor sal, hører man derfor ligesom en slags fortsættelse af de ord, som bliver sagt. Man kalder det *genlyd*. Skal en tale høres tydeligt i et lokale, er en vis genlyd af gunstig virkning, da genlyden forlænger den tid, hvor øret bliver påvirket; herved gøres høreindtrykket tydeligere. Men er lokalet meget stort,

varer det for længe, inden lyden når tilbage fra murene. Genlyden fra den ene stavelse vil herved forstyrre ørets opfattelse af den næste stavelse. I lokaler, hvor noget sådant finder sted, kirker f. eks., taler man om dårlig „akustik“.

I forsøget fig. 4 dækkes spejlet med et stykke tykt filt; nu kan vi ikke mere høre uret dikke, når øret holdes i Ø. Fra tæpper, gardiner og en række andre ting kan lyden vanskeligt tilbagekastes. Sådanne stoffer kan anbringes i værelser, hvor man vil forbedre akustikken.

I tåget vejr bliver lyden svækket stærkt. Til forklaring af dette kan anvendes følgende forsøg: Et nogenlunde stort cylinderglas, næsten fyldt med vand, stilles på bordet. Vi banker på glasset med en træhammer og hører en lyd med en kraftig klang. Hvis vi nu fylder vandet med små luftbobler, f. eks. ved at hælde lidt eddikesyre i glasset og tilsætte en skefuld surt natriumkarbonat, og dernæst atter banker på glasset, kommer der kun en ganske svag og tom lyd. Tåge består af luft med små vanddråber, og når lyden skal trænge igennem tåget luft, må den stadig passere fra luft til vand og igen til luft; herved svækkes den stærkt. I forsøget har vi vand med små luftbobler, men virkningen er den samme.

Ultralyd. Man kan få legemer til at svinge med en større frekvens end 20000 gange i sekundet. Så kan de fleste mennesker blot intet høre. Mange dyr kan opfatte meget hurtige svingninger. Nogle hundeejere har fløjter med så høj en tone, at mennesker ikke kan høre den, derimod kan hundene. Lyd med så høj en frekvens, at mennesker intet kan høre, kaldes *ultralyd*.

Ultralyd har en mængde anvendelsesområder. Skal man f. eks. måle, hvor dybt havbunden ligger under et skib, kan man afsende ultralydssignaler. Disse bliver tilbagekastet fra havbunden og sendt tilbage til skibet. Særlige apparater kan måle, hvor lang tid der går mellem afsendelsen og modtagelsen af signalet. Denne tidsforskel vokser med afstanden til havbunden, og man kan af tidsforskellen udregne havdybden. På samme måde kan man i en flyvemaskine måle, hvor højt man er over jordoverfladen.

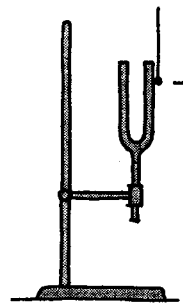


Fig. 5.

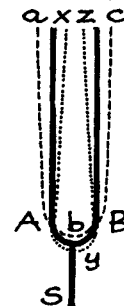


Fig. 6.

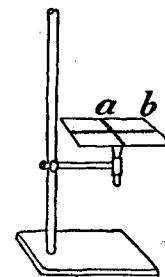


Fig. 7.

Fig. 5. Glaskuglen slynges bort fra stemmegafflens ene ben. Fig. 6. Stemmegafflen med knudepunkterne A og B. Fig. 7. Knudelinier i en metalplade.

Stemmegafflen

I fig. 5 er en stemmegaffel hængt op i et stativ, og man giver dens ben et slag med træ- eller gummihammer. En lille glaskugle, som er bundet til en snor, føres hen til den øverste del af et af benene. Når kuglen rører stemmegafflen, slynges kuglen ud til siden. Vi lader glaskuglen røre punkter længere nede på stemmegafflen og opdager, at stødene, kuglen får, bliver mindre voldsomme. Kommer vi med kuglen ned til punkterne A eller B (fig. 6), bliver den slet ikke påvirket.

Stemmegafflens grene svinger frem og tilbage mellem de to yderstillinger *a*, *b*, *c* og *x*, *y*, *z*. De stillestående punkter kaldes *knudepunkterne*. Skaftet *S* bevæger sig op og ned. Fjerner vi stemmegafflen fra stativet, slår vi den an og sætter den ned mod bordpladen, kommer denne i svingninger; der sættes mere luft i bevægelse end før, og tonen lyder stærkere. En almindelig stemmegaffels grene (a-gaffel) svinger 440 gange frem og tilbage i sekundet.

En firkantet plade er på midten fastgjort til et skaft; vi strør tørt, fint sand på pladen og stryger randen med en violinbue. Vi hører en tone, og sandet kommer i bevægelse. Holder vi en finger let på det sted af pladen, som er mærket med *a*, og stryger med violinbuen ved *b*,

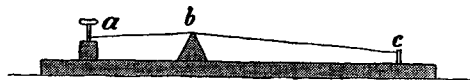


Fig. 8. En streng er udspændt mellem punkterne a og c .

kommer sandet i bevægelse og danner et kors (fig. 7); det slynges bort fra de svingende dele af pladen og samler sig i de stillestående dele, *knudelinierne*.

Strenginstrumenter

Vi spænder en kobbertråd ud på et bræt hen over træklodsen ved b (fig. 8). Tråden strammes ved hjælp af nøglen a . Med fingeren sætter vi først stykket ab , senere stykket bc i svingninger og mærker os hvilket af dem, der giver den højeste tone. Vi lægger mærke til, hvordan det går med tonehøjden, hvis vi strammer tråden mere, og hvis vi bruger en kobbertråd med anden tykkelse. (Trådene kan f. eks. være 1 mm og $\frac{1}{2}$ mm tykke). Vi ser, at der gælder følgende regel:

Jo kortere og tyndere strengen er, og jo mere den strammes, des højere bliver tonen.

I klaveret har strengene forskellig længde og tykkelse og anslås ved, at der trykkes på tangenterne; der er en streng for hver tone. Strengene er udspændt på en plade, *sangbunden*; ligesom bordpladen svinger med, når stemmegafflens skaft sættes på den, kommer også sangbunden i svingninger, når en streng anslås. Tonen lyder stærkt, fordi sangbunden sætter en stor luftmasse i bevægelse.

Violinen har kun fire strenge. Ved at trykke et eller andet punkt af en streng ned mod violinhalsen kan violinspilleren give strengen forskellig længde, så at han kan frembringe forskellige toner med samme streng. Violinkassen spiller her samme rolle som sangbunden på klaveret.

Resonans

En gyngesvinger frem og tilbage; den tid, den er om bevægelsen, kaldes dens *egensvingningstid*. Hvis man påvirker gyngen i takt med svingningerne, således at man giver den et puf, hver gang den er nået helt tilbage, kan gyngens udsving blive meget store. Man siger, at vi og gyngen er i *resonans*.

Resonans er en meget vigtig sag. Et skib f. eks. har en *egensvingningstid*, og hvis den passer sammen med den takt, hvori bølgerne kommer imod skibet, kan dette komme til at vippe højt ubehageligt og måske kæntre. Man må altså i høj grad tage hensyn til resonans, når man skal bygge et nyt skib.

Hvordan kan det være, at en vase eller et billede, der står oven på klaveret, undertiden giver sig til at klirre, når en bestemt tone slås an?

En svingende stemmegaffel holdes lige over et glastrør, der er sænket ned i vand (fig. 9). Vi hæver eller sænker glastrøret, og når det befinder sig i en ganske bestemt stilling, lyder stemmegafflens tone meget kraftigt.

Luftdelene i glastrøret har en tendens til at svinge lidt op og ned med en bestemt *egensvingningstid*. Hvis denne falder sammen med stemmegafflens, er der resonans, og luftdelene bliver bragt i stærke svingninger. Banerne for de enkelte luftdele er ikke lige lange: de længste baner har vi foroven, medens luftdelene helt nede ved vandoverfladen ikke kan svinge. Alle luftdelene er samtidig i de øverste endepunkter af banerne og samtidig i de nederste, så at luftsøjlen i glasset afvekslende har rumfanget $abcd$ og a_1b_1cd . Luftsøjlen overflade forholder sig altså som en plade, der svinger op og ned mellem stillingerne ab og a_1b_1 i takt med stemmegafflens svingninger. Da en stor luftmængde bliver sat i bevægelse, høres tonen kraftigt.

Lad os antage, at stemmegafflen var en a -gaffel. Hvis

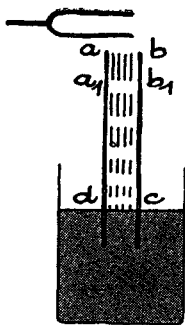


Fig. 9. Stemmegafflen sætter luften i glasrøret i svingninger.

vi bagefter prøver med en anden stemmegaffel med et andet svingningstal, f. eks. en *c*-gaffel, bliver luften i røret ikke sat i svingninger. Kun hvis der er resonans, bliver luften sat i svingninger.

Nu blæser man over randen af røret. Idet luften passerer glasranden, opstår der en masse forskellige toner, men kun en enkelt er i stand til at få luftdelene til at svinge. Det er den samme tone, som *a*-gafflen kan frembringe. Når vi puster hen over røret, hører vi altså tonen *a*, frembragt af luftsøjlen.

Forsøget vil vi hellere gøre på følgende måde: fire reagensglas stilles op i et reagensglasstativ, og vi fylder vand i glassene, til luftsøjlernes længde i de fire glas er henholdsvis 64, 84, 96 og 128 mm. Puster vi nu gennem et ikke for snævert glasrør skråt hen over glassene i rækkefølge, hører vi treklngen. Det er altså luftsøjlenes længde, der bestemmer den tone, som røret forstærker.

Vi kan føre forsøget videre, idet vi benytter 8 reagensglas, hvor luftsøjlerne har længderne: 120, 107, 96, 90, 80, 72, 64 og 60 mm. Puster vi på samme måde som før hen over glassene, hører vi en toneskala. På „instrumentet“ kan spilles små melodier, som f. eks. „Tordenskjold“ og „Lille Peter Edderkop“.

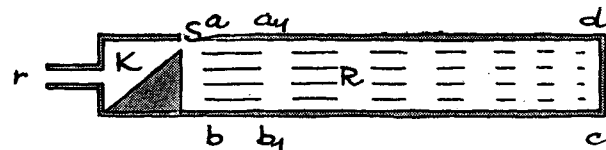


Fig. 10. Orgelpiben.

Orgelpiben

Fig. 10 viser, hvordan orgelpiben kan være indrettet. Fra en blæsebælg strømmer luften gennem røret *r* ind i *K*; herfra går den hen til den skarpe kant *S*, og herved opstår der en mængde forskellige toner. En af disse er i resonans med luftsøjlen i *R*, som derfor bliver bragt i svingninger. Luftsøjlen har afvekslende rumfangene *abcd* og *a₁b₁cd*. Når luftsøjlen forkortes, suges noget af den luft, der kommer fra blæsebælgen, ind i *R*; når luftsøjlen i næste øjeblik forlænges, stødes der luft både fra *R* og fra blæsebælgen ud gennem spalten, og sådan bliver det ved. Fra spalten udgår der altså en række fortætninger, som bringer trommehinden i svingninger; vi hører en tone.

I orglet er der en pibe for hver tone, som orglet kan frembringe; ved at trykke på forskellige tangenter leder man luftstrømmen fra blæsebælgen hen til de forskellige piber.

Det viser sig ved forsøg med orgelpiber, at *korte luftsøjler giver høje toner, lange luftsøjler dybe toner*.

Den menneskelige stemme. I menneskets strubehoved findes et par elastiske bånd, de såkaldte stemmehånd, der kan bringes i svingninger af den udstømmende luft. Svingningstallet og hermed tonehøjden afhænger af stemmehåndenes længde og spænding. Vi er i stand til at ændre begge dele. Lyden, som de svingende stemmehånd er i stand til at frembringe, er imidlertid meget svag. Lyden forstærkes af forskellige hulrum, nemlig svælget og næse-, mund- og brysthulen.

Lys og skygge

Falder der sollys ind gennem et vindue eller et nøglehul, belyses støvpartiklerne i luften, og vi ser, at *lyset bevæger sig efter rette linier*.

Holder vi hånden op foran en væg, der er belyst af solen eller en lampe, standser hånden de lysstråler, der træffer den. Mellem hånden og væggen er der et mørkt rum, *skyggen*, og på væggen dannes der et *skyggebillede*.

På tegningen forestiller *S* en glødende kugle, *AB* en mindre kugle, der ikke er glødende. Trækker vi de ydre fællestangenter til kuglerne, begrænser de et rum, *ABC*, hvor ingen lysstråler fra *S* kan trænge ind; *ABC* kaldes den lille kugles *kerneskygge*. Trækker vi de andre fællestangenter til de to kugler, begrænser de til højre for den lille kugle et rum, som strækker sig i det uendelige; det kaldes *halvskyggen*. Et punkt *P* i halvskyggen belyses af den øverste del af *S*. Når vi fra *P* trækker en

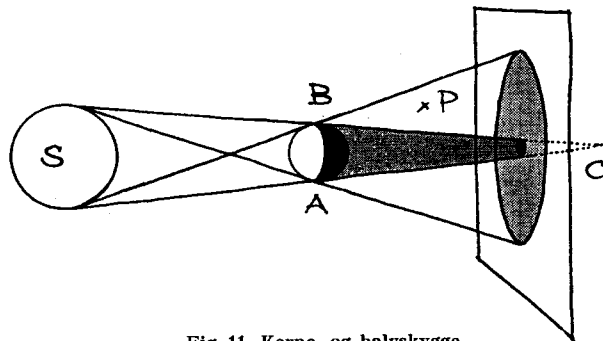


Fig. 11. Kerne- og halvskygge.

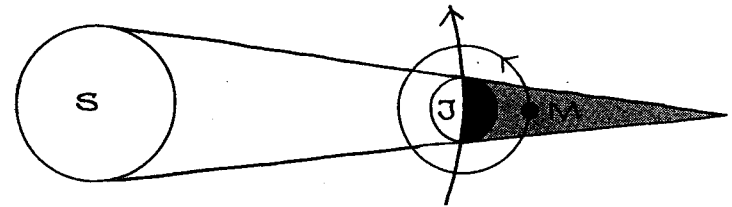


Fig. 12. Måneformørkelse.

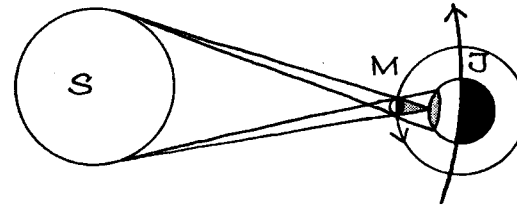


Fig. 13. Solformørkelse. Ligesom i forrige figur er afstande og diametre tegnet forkert. Dette er gjort for at gøre tegningerne mere anskuelige.

tangent til den øverste del af den lille kugle og forlænger den hen til *S*, får vi at se, hvor stor en del af *S*, der belyser *P*. Holdt man en skærm således, som tegningen viser, ville kerneskyggen danne en rund, sort plet på den, halvskyggen en svagt belyst ring uden om den sorte plet. Ringen går gradvis fra kerneskyggens fuldstændige mørke til det helt lyse.

Eksempel 1. Måneformørkelse. På fig. 12 forestiller *S* solen, *J* jorden. Da jordens kerneskygge omtrent er fire gange så lang som månens afstand fra jorden, kan det hælde, at månen *M* på sin vej omkring jorden går gennem dennes kerneskygge. Vi får da en *måneformørkelse*, som bliver *total*, hvis hele månen, og *partiell*, hvis kun en del af den kommer ind i kerneskyggen. Da månen vender den belyste side mod jorden, når den er nær ved jordens kerneskygge, kan måneformørkelser kun indtræde ved fuldmåne.

Eksempel 2. Solformørkelse. *S* forestiller solen, *M* månen. Månens kerneskygge er omtrent af samme størrelse som afstanden fra jorden til månen, i reglen lidt længere.

Når jorden står til højre for månen, dannes der på jordens overflade skygger ligesom før på skærmen i fig. 11. Hvor den sorte plet dannes, er der total *solformørkelse*, uden om partiel. Månen vender nu den mørke side mod jorden: *solformørkelser kan altså kun finde sted ved nymåne*.

Lysets hastighed er 300 000 km pr. sekund. Lyset tilbage lægger i et sekund en vejlængde, som er omtrent afstanden mellem månen og jorden. Lyset bruger 8 minutter om at gå fra solen til jorden; fra polarstjernen bruger det adskillige år.

Lysets tilbagekastning

Når lysstråler træffer en glasplade, går almindeligvis de fleste gennem den; nogle kastes tilbage.

Stil et stearinlys foran en glasplade og hold øjet på samme side af pladen; vi ser, at der dannes et spejlbillede af lyset. Anbring et andet stearinlys på det sted, hvor billedet ses. Tænd det forreste lys. Det ser nu ud, som om det bageste også er tændt. Hold hånden over det bageste lys. Brænder man sig? Fjern det bageste lys og erstat det med et bægerglas med vand. Det ser ud, som om lyset brænder nede i vandet! Flyt hovedet over på den anden side af glaspladen. Ser man spejlbilledet?

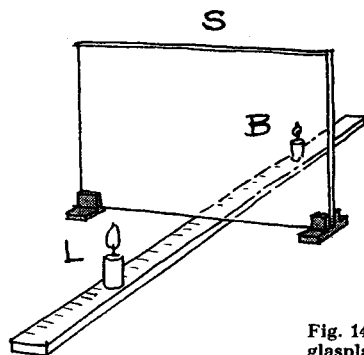


Fig. 14. Lysets tilbagekastning fra en glasplade.

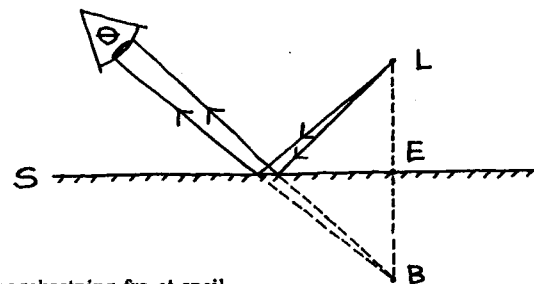


Fig. 15. Tilbagekastning fra et spejl.

Havde vi undersøgt beliggenheden af de to lys, var vi kommet til følgende resultat: *Spejlbilledet dannes lige så langt bag ved den spejlende flade, som lyset står foran. Forbindelseslinien mellem lyset og dets spejlbillede står vinkelret på spejlet.*

Fra stearinlyset udgår der lysstråler til alle sider; en del af dem rammer glaspladen og kastes tilbage, som om de kom fra billedet.

Tegningen fig. 15 viser gangen af to af de stråler, som udgår fra lyset L og efter tilbagekastning fra den spejlende flade S går ind i øjet $\emptyset$; det er, som om de kommer fra billedet B . LB er vinkelret på spejlet S , og $LE = EB$. Da strålerne i virkeligheden ikke udgår fra B , kaldes billedet *indbildt*.

LA (fig. 16) er en af de stråler, som udgår fra lyset, AC er den tilbagekastede stråle. B er billedet, S den

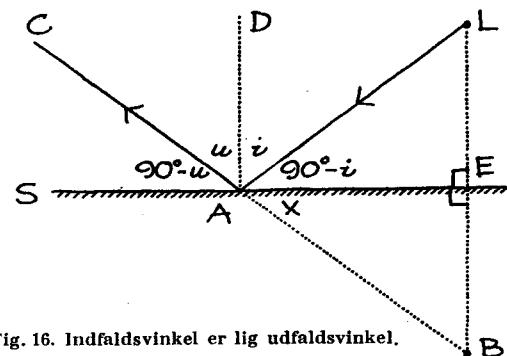


Fig. 16. Indfaldsvinkel er lig udfaldsvinkel.

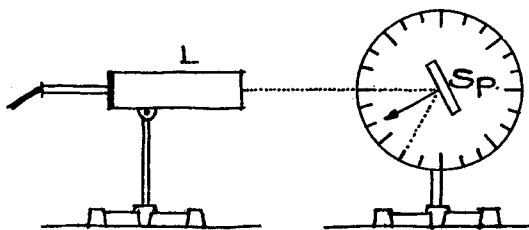


Fig. 17. Eftervisning af ligestorheden af indfalds- og udfaldsvinkel. Lampen L kaldes en reuterlampe.

spejlende flade, som står vinkelret på papiret. Linien DA er tegnet vinkelret på spejlet i det punkt, hvor strålen rammer det; den kaldes *indfaldsloddet*.

$\angle i$ kaldes *indfaldsvinklen*, medens $\angle u$ kaldes *udfaldsvinklen*. Folder vi $\triangle ALE$ om AE , dækker den $\triangle ABE$. (AE er fælles, de to vinkler ved E er rette, og $EL = EB$). Altså er $\angle (90 \div i) = \angle x$. Da desuden $\angle (90 \div u) = \angle x$ (topvinkler), har vi $90 \div u = 90 \div i$ eller $u = i$. *Indfaldsvinkel og udfaldsvinkel er lige store*. Desuden gælder, at *den indfaldende stråle, den tilbagekastede stråle og indfaldsloddet ligger i samme plan*.

Med apparatet på fig. 17 kan man eftervise, at indfaldsvinkel er lig udfaldsvinkel. Spejlet Sp er fastgjort til den cirkelformede, inddelte skive, der kan dreje om en akse gennem centrum, vinkelret på pladen. Lyset kommer fra reuterlampen L , der er forsynet med en skærm med en vandret spalte. De indfaldende og tilbagekastede stråler kan iagttages på skærmen. Spejlet drejes i forskellige stillinger, og det vises, at det stadig gælder, at de to vinkler er lige store.

Man kan spejle sig i en sø samt i en vinduesrude, især når der er en mørk baggrund. Imidlertid går de fleste af strålerne igennem vandoverfladen eller vinduesruden, og kvaliteten af billedet bliver ikke særlig god. Et meget bedre billede får vi, når vi benytter en blankpoleret metalflade, men en sådan er meget udsat for at blive ridset samt for at blive påvirket af atmosfærens bestanddele. Man laver derfor spejle på den måde, at man på bagsiden

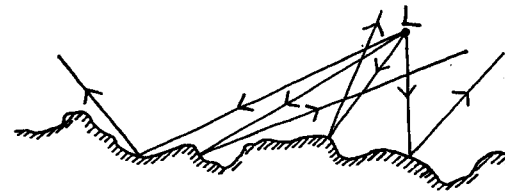


Fig. 18. L er en lysgiver, hvorfra der sendes stråler ned mod en ru overflade. Forlængelsen af de tilbagekastede stråler går ikke gennem samme punkt som ved et plant spejl.

af en glasplade anbringer et ganske tyndt lag af et spejlende metal, f. eks. sølv. Man dækker bagsiden af sølvlaget med et beskyttende lag lak. Sølvlagets forside sikres mod overlast af glaspladen. Der sker nu i virkeligheden en spejling to steder, nemlig fra glassets forside og fra sølvlaget. De to spejlbilleder vil normalt ikke forstyrre hinanden, hovedsagelig fordi spejlingen fra glassets forside ikke er så udpræget. Undersøg spejlingen af et stearinlys og iagttag, at der er to spejlbilleder!

Står man ved bredden af en stille sø, lægger man mærke til, at spejlbillederne af træerne på den modsatte bred er meget tydeligere end spejlbilledet af et træ, som rager ud over bredden på det sted, hvor man står. Ved den sidste spejling er indfaldsvinklen lille, og de fleste stråler vil gå ned i vandet, så spejlbilledet bliver dårligt.

Hvis et vindstød kruser overfladen, forsvinder straks spejlbilledet af træerne på den modsatte bred, og i stedet ser man vandoverfladen tydeligt. Den slags spejling, som foregår fra et legemes ru overflade, kaldes *diffus*, og den er skyld i, at legemet i det hele taget kan iagttages. Det er altså heldigt, at de fleste legemer har en diffus overflade.

Hulspejlet. Fig. 19 forestiller den rest, som er blevet tilbage af en kugleflade, efter at størsteparten er fjernet. Denne tilbageblevne del kalder vi en *kuglekalot*, og vi vil tænke os, at den er forsvundet på indersiden. M er

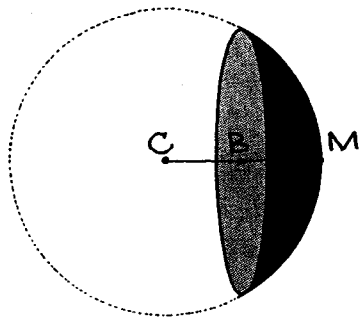


Fig. 19. Hulspejlet.

spejlets midtpunkt, C er kuglefladens centrum, og forbindelseslinien mellem C og M kaldes spejlets akse.

Vi sender stråler ind mod spejlet; de skal være parallelle med akse. Så viser det sig, at strålerne samles nogenlunde i et punkt B , der er midtpunktet af CM . Retter vi spejlet mod solen, sådan at solstrålerne omtrent er parallelle med akse, vil vi måske kunne få ild i et stykke papir, som er anbragt i B . Papiret skal i forvejen være svartet med blæk.

Anbringer vi en lysgiver i B , vil strålerne, der kastes tilbage fra spejlet, næsten være parallelle. På denne måde er billygter indrettet. Spejlet er dog ikke en fuldstændig kuglekalot. Barberspejle er ofte hulspejle.

Lysets brydning

S på fig. 20 er en skærm, som er fastgjort til et stativ. Når man kikker gennem et hul i skærmen, vil man

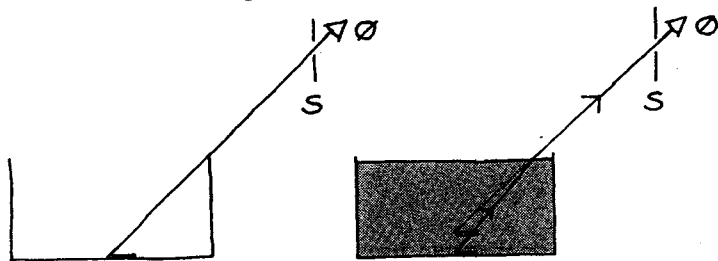


Fig. 20. Mønten dukker frem, når der hældes vand i karret.

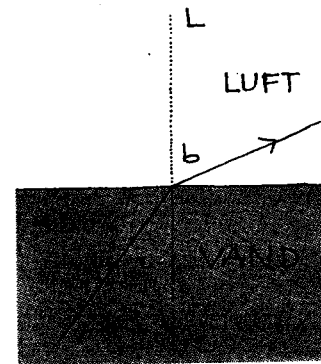


Fig. 21. Lysets brydning ved overgangen fra vand til luft.

ikke kunne se en mønt, der ligger i et kar med uigenkendselige sider. Hælder man derimod vand i skålen, bliver mønten synlig; både den og karrets bund synes at være kommet nærmere til vandets overflade, end de i virkeligheden er. Grunden er den, at lysstråler skifter retning, når de går fra et stof over i et andet. På fig. 20's højre figur ser vi strålegangen fra et punkt af mønten.

Fig. 21 viser, hvordan brydningen går for sig. Man tegner *indfaldssloddet*, den linie, som står vinkelret på grænsefladen i det punkt, hvor strålen rammer den. Vinklen mellem den indfaldende stråle og indfaldssloddet kaldes *indfaldsvinklen* i . Vinklen mellem indfaldssloddet og den brudte stråle kaldes *brydningsvinklen* b . Vi ser, at b er større end i . Havde strålen gået fra luft til vand, havde strålegangen været lige den modsatte. Der gælder den regel ved en stråles overgang mellem et stof og luft, at *vinklen i luft er altid den største*.

Forsøget i fig. 22 viser, at en genstand ses forskudt fra den virkelige plads, når den iagttages gennem glas, f. eks. tykt rudeglas. På fig. 23 har vi (set ovenfra) en glasplade, der ligger på et stykke papir. Ved A anbringes en knappenål, medens vi holder øjet ved $\emptyset$. Nu anbringes en knappenål ved B sådan, at den dækker den første nål

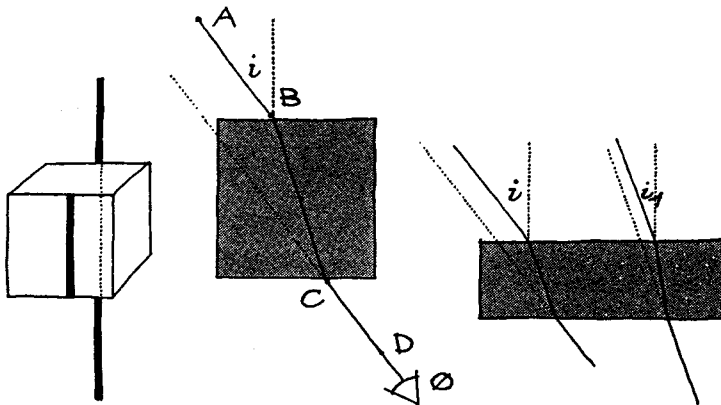


Fig. 22.

Fig. 23.

Fig. 24.

Fig. 22. Kikker vi på skrå gennem glastærningen, ses strikkepinden forskudt fra den virkelige plads. Fig. 23. De to stråleretninger er parallelle. Fig. 24. Sideforskydningen bliver mindre, når glasset er tyndere, og når indfaldsvinklen er lille.

ved A. I C og D anbringes også knappenåle, så de øvrige bliver dækket.

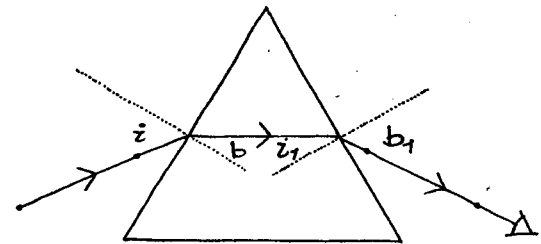
Nu kan vi på papiret tegne strålegangen fra A til øjet. Det viser sig ved forsøget, at AB er parallel med CD.

En stråle, som går gennem en rude, har efter brydningerne en retning, som er parallel med strålens oprindelige retning.

På fig. 24 er der tegnet en halvt så tyk glasplade som den i fig. 23. Hvordan går det nu med afstanden mellem de parallelle strålelinier, når indfaldsvinklen er den samme? Hvis indfaldsvinklen i_1 er mindre end i , bliver parallelforskydningen endnu mindre. Er i_1 meget lille, og er glasset tyndt, bliver sideforskydningen umærkelig. Der gælder derfor følgende regel, som vi senere får brug for: Når en stråle går omtrent vinkelret ind på en tynd glasplade, der er begrænset af parallelle flader, går strålen ubrudt gennem glaspladen.

I fig. 25 har vi et stykke glas, der ikke er begrænset af parallelle flader. Det kaldes et *prisme*. Vi anbringer knappenålene på samme måde som i forrige forsøg. For-

Fig. 25. En stråles gang gennem et prisme.



søget viser, at efter brydningerne er strålens retning ikke parallel med dens oprindelige retning. Dette stemmer også med reglen om, at ved en brydning er vinklen i luft altid større end vinklen i glas.

Fig. 26 forestiller et glaskar med vand. En lysstråle sendes ind mod spejlet A, hvorfra den tilbagekastes ned i karret til spejlet B. Efter en ny tilbagekastning har strålen retningen 1, men ved vandoverfladen deles den i to stråler, den tilbagekastede 2 og den brudte 3*. Er vinklen i lille, vil det meste af lyset blive brudt ved vandoverfladen, og kun en ringe del kastes tilbage. B kan drejes, så i bliver større, og herved viser det sig, at en større og større del af lyset kastes tilbage fra vandoverfladen. Til sidst er der overhovedet intet af lyset, som kan komme op over vandoverfladen; vi siger, at der sker en *fuldstændig tilbagekastning* (stråle 4).

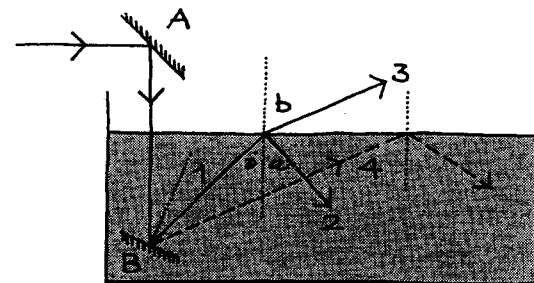


Fig. 26. Fuldstændig tilbagekastning.

* Strålen i vand bliver synlig ved, at der kommer noget fluorescein derned; strålen i luft kan ses i tobaksrøg, der pustes ned over vandet.

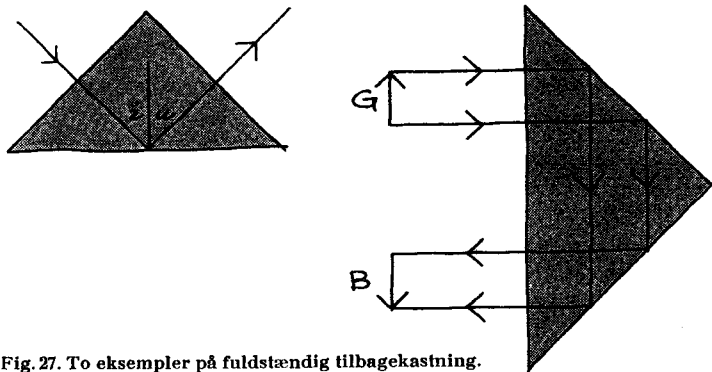


Fig. 27. To eksempler på fuldstændig tilbagekastning.

I fig. 27's venstre billede har vi et glasprisme med en vinkel på 90° mellem to af sidefladerne. Vinklen i er 45° , og denne vinkel er så stor, at der er fuldstændig tilbagekastning fra den nederste sideflade. I højre figur er der fuldstændig tilbagekastning ved to sideflader. Man lægger mærke til, at den øverste af de to indfaldende stråler efter tilbagekastningerne er blevet til den nederste, således at der byttes om på „op og ned“ i genstand og billede. Vi skal senere høre, at retvinklede prizmer anvendes i prismekikkerter.

På cykelture på varme sommerdage har vi alle lagt mærke til, at det ser ud, som om landevejen på den næste bakketop er nytjæret. Det er den jo sædvanligvis slet ikke, og det, vi har været ude for, er en slags luftspejling. I sommervarmen bliver vejen stærkt opvarmet, og luften lige over vejen bliver også meget varm, men herved udvider den sig. Vi får en række

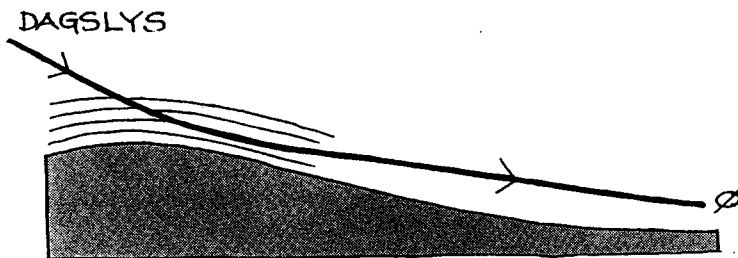
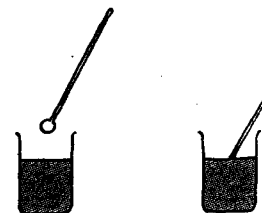


Fig. 28. Fuldstændig tilbagekastning over en tjæret vej.

Fig. 29. Spatlen er usynlig nede i vædsken, som består af meta-xyloil med 13 % alfa-bromnaphthalin.



luftlag, hvor vægtfylden bliver mindre og mindre *nedad*. Når nu noget af dagslyset kommer ind i stadig tyndere luftlag, bliver lysstrålen brudt, så indfaldsvinklen bliver større og større. Til sidst er vinklen så stor, at vi får fuldstændig tilbagekastning, og strålen kommer ind i vort øje $\emptyset$. Der kommer så meget lys ind i øjet, at det ser ud, som om vejen er nytjæret. Når man i ørkener tror at se en sø foran sig, er der tale om en lignende luftspejling.

Hvis to stykker glas presses sammen, iagttager man ikke grænsefladen: lyset bliver hverken brudt eller kastet tilbage, når det kommer derhen.

Man har en vædske, som opfører sig på samme måde som glas over for lyset. Der kommer derfor ingen brydning og tilbagekastning der, hvor vædske og glas støder sammen, og grænsefladen kan ikke ses. Prøv at stikke en glasspatel ned i vædsken. Spatlen bliver usynlig!

Newton's forsøg

For 250 år siden gjorde englænderen Isaac Newton følgende forsøg: I et mørkt værelse lod han et tyndt bundt solstråler falde ind gennem et hul i væggen; de dannede

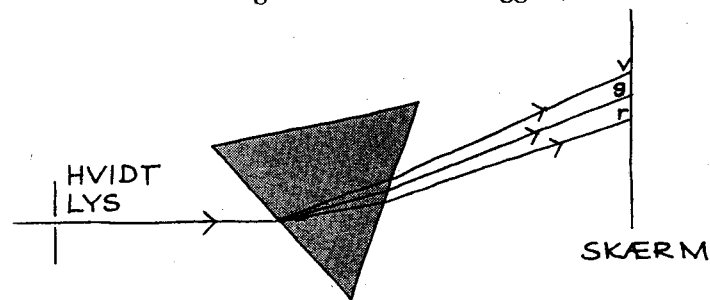


Fig. 30. Newton's forsøg.

en lille hvid plet på en med hvidt papir overtrukken skærm, som stod lige ud for hullet. Lod han strålerne træffe et glasprisme, således som billedet viser, blev de brudt opad; men i stedet for en hvid plet så han en aflang, farvet plet, som var rød forneden, violet foroven; farverne fulgte efter hinanden i følgende orden: *rødt, gult, grønt, blåt og violet*. Den aflange plet kaldes et *solspektrum*.

Newtons forsøg viser, at *det hvide sollys indeholder stråler med forskellig brydbarhed*; de kaldes røde stråler, gule stråler o. s. v. *De røde stråler brydes mindst, de violette mest*. De røde stråler brydes ikke alle lige meget og har ikke samme røde farve; *til en bestemt brydbarhed svarer en bestemt farve*. Det samme gælder gult, grønt o. s. v.; *det hvide sollys indeholder altså stråler af uendelig mange brydbarheder*.

I forsøget fig. 31 har vi lavet en spalte i skærmen på det sted, hvor de grønne stråler rammer. Det grønne lys vil altså gå igennem skærmen; det går videre gennem et nyt prisme og hen til endnu en skærm. Man kunne måske tro, at der nu kom helt nye farver frem, men der kommer kun grønt lys på skærmen. *Lys af en bestemt farve kan ikke deles op i lys af andre farver*.

Ved hjælp af et prisme får vi dannet et spektrum. Nu anbringer vi, som fig. 32 viser det, et prisme bag det

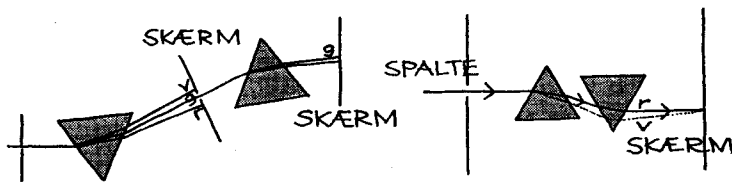


Fig. 31.

Fig. 32.

Fig. 31. Når de grønne stråler sendes gennem endnu et prisme, får man ikke nye farver frem. Fig. 32. Stilles et prisme bag det første, genforenes de farvede stråler til hvidt lys. På figuren er tegnet gangen af en rød og en violet stråle. (Derimod er ikke tegnet en linse, som befinder sig mellem spalte og første prisme.)

første og i omvendt stilling; det viser sig, at der på skærmen kun kommer hvidt lys. *Når lys af alle spektrets farver sættes sammen, fremkommer der hvidt lys*.

Farver

Når en uigennemsigtig ting, f. eks. en væg, er rød, tilbagekaster den de fleste røde stråler, men kun få af de andre. Er væggen brun, tilbagekaster den stråler af forskellig farve, som tilsammen danner væggen brune farve. En hvid ting tilbagekaster næsten alle lysstråler, en sort ting tilbagekaster næsten ingen. Grå genstande tilbagekaster omtrent lige meget af alle farver; tilbagekaster de kun lidt lys, er de mørkegrå, tilbagekaster de meget, er de lysegrå. *Uigennemsigtige legemer, der ikke er selvlysende, bliver synlige ved, at de tilbagekaster noget af det lys, der rammer dem. Legemets farve beror på, hvilke stråler det er i stand til at tilbagekaste*.

Før et rødt silkebånd gennem spektret lige foran skærmen. Silkebåndet viser sig rødt, når det føres gennem den røde del af spektret; i spektrets andre områder er det sort. Prøv også med et gult, et grønt og et blåt silkebånd.

En tings farve må desuden bero på beskaffenheden af det lys, der belyser tingen. Tegn med farvekridt så mange farver på tavlen, som vi har. Se på farverne ved almindelig belysning og ved lyset fra en natriumflamme. Denne får man ved inde i et gasblus at holde et stykke asbest, der har ligget i en stærk saltopløsning. Natriumflammen udsender kun gult lys, og hvis et af de farvede områder ikke kan tilbagekaste gult lys, ser vi det som sort.

Vi vil lade hvidt lys gå gennem et prisme, så vi får et spektrum på en skærm. Holder vi et rødt glas foran pris-

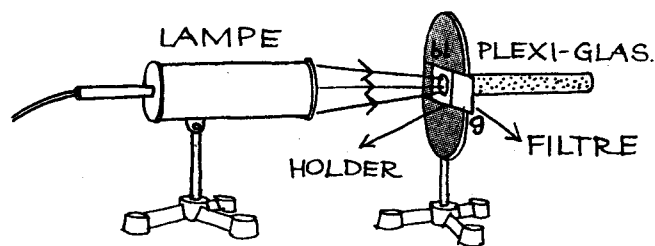


Fig. 33. Addition og subtraktion af farver.

met, forsvinder alle farverne undtagen den røde; rødt glas lader de røde stråler slippe igennem, men tilbageholder omtrent alle de andre. Holder vi et grønt glas foran prismet, bliver der kun grønt og noget rødt tilbage af spektret. Et gennemsigtigt legeme vil normalt tilbagekaste samme slags stråler, som det lader passere igennem sig.

I fig. 33 er der en rund plexiglasstang, hvis overflade er gjort ru. Stangen bliver belyst med stråler fra en reuterlampe eller en buelampe, men lige før lysstrålerne når til stangen, må de gennem et blå filter, som kun lader blå stråler passere. Stangen lyser med et blå lys. Det blå filter kan forskydes i en holder, og når det er skubbet helt til siden, er der i stedet et gult filter foran glasstangen. Nu lyser glasstangen naturligvis med gult lys.

Filtrene forskydes sådan, at der kommer både gult og blå lys ind i glasstangen. I en bestemt stilling af filtrene er stangen hverken gul eller blå, men hvid. Før lærte vi, at når lys af alle spektrets farver kommer sammen på et bestemt sted, får vi hvidt lys. Men af dette forsøg ser vi, at vi kan nøjes med at have lys af to farver, som ved *addition* giver hvidt lys. Et sådant par farver kaldes *komplementærfarver*.

Vi har igen skubbet til filtrene, så det blå står foran plexiglasstangen. Foran det blå filter holder vi et nyt gult filter. Lyset fra reuterlampen passerer altså både det gule og det blå filter. Vi har sagt, at det gule filter kun lader gult lys passere. I virkeligheden går der foruden det gule lys også noget grønt igennem. Der kommer altså både gult og grønt lys hen til det

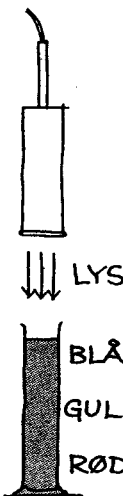


Fig. 34. Fra reuterlampen foroven sendes lys ned i et stort cylinderglas, der er fyldt med sæbevand. De blå stråler spredes stærkest af sæbepartiklerne, og sæbevandet har derfor en blå farve øverst oppe. Længere nede viser vædsken sig gul, og længst nede er den rød. De røde stråler spredes vanskeligst.

blå filter, men dette tillader kun blåt og grønt lys at passere. Det gule lys bliver altså bremset, medens det grønne kan gå igennem. Vi ser, at stangen har en grøn farve. Nu er der ikke tale om en *addition* af lys, men en *subtraktion*. Når en gul og en blå vædske ved sammenblanding bliver grøn, forklarer man det på en lignende måde.

De forskelligt farvede dele af sollyset bliver i nogen grad spredt ud til siderne af jordatmosfærens bestanddele. Dette gælder særlig for de blå og violette stråler, hvilket er årsagen til himlens blå farve. De røde stråler kan i højere grad passere gennem jordens atmosfære, og solen viser sig derfor gul eller rød ved solopgang eller solnedgang, hvor solstrålerne tilbagelægger en lang strækning gennem jordatmosfæren.

Luftdelenes evne til at sprede lyset afhænger af deres størrelse. Røgen, der stiger op fra en cigar, er blå, da røgpartiklerne især spredt det blå lys. Den tobaksrøg, man blæser ud af munden, er derimod hvid. Røgpartiklerne er gået sammen med mundens fugtighed, så partiklerne er blevet større; nu kan de sprede lys af alle farver, og derfor er røgen hvid.

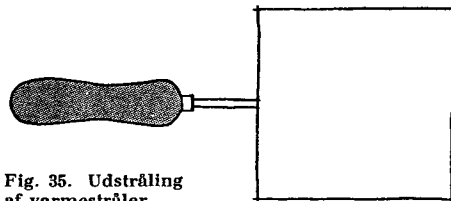


Fig. 35. Udstråling af varmestraler.

Infrarøde og ultraviolette stråler

Strålevarme. En kobberplade er sværtet sort på den ene side; pladen er fastgjort til en metalstang med isole-ret håndtag*. Nu varmer vi pladens *blanke* side stærkt op over en gasflamme og prøver derefter at holde den blanke og den sorte side i nærheden af ansigtshuden. Når den blanke side vender mod ansigtet, mærker man ikke noget særligt, medens den sorte side frembringer en hed, stikkende fornemmelse i huden. Man siger, at der fra metalpladen udgår *mørke varmestraler*. Forsøget viser, at *fra blanke metalflader udgår der ikke nær så mange varmestraler som fra en ru flade*.

Hvorfor sværter man en kakkelovn sort, medens en termoflaske har et sølvskinnende lag på indersiden?

I fig. 36 er der anbragt en bøjet, sortsværtet kobberplade over en bunsenbrænder. Når gasblusset er tændt, udsendes der en mængde mørke varmestraler fra metalpladen. Nu anbringes en blank og en sortmalet metalplade i lige store afstande fra kobberpladen. På metalpladernes bag-side er der anbragt træpinde, som er gjort fast med lidt blødt voks. Dette voks er letsmelteligt, så når det opnår en bestemt temperatur, vil træpinden synke ned. Vi kan altså betragte træpindene som en slags termometre.

* Fladen, der er forniklet, kan være kvadratisk med siden 15 cm. Det sorte, som er smurt på den ene side, kan være vandglas med kønrøg.

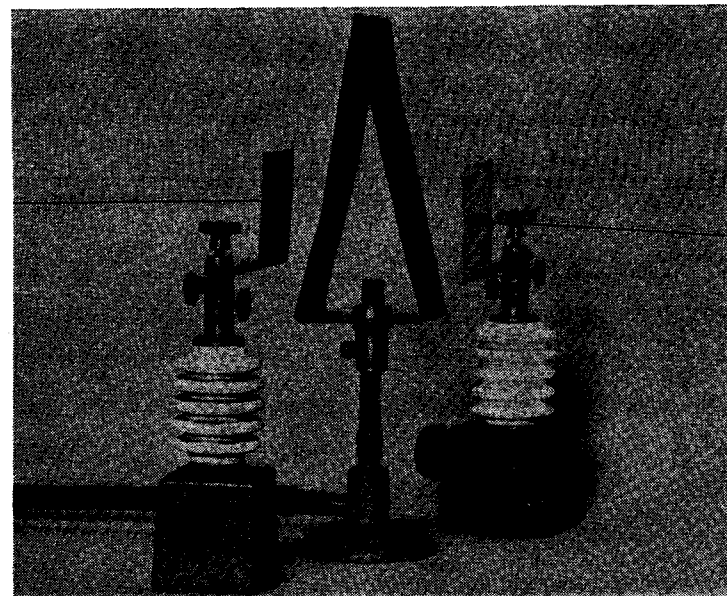


Fig. 36. Indsugning af varmestraler.

Det varer ikke længe, inden pinden på den sorte plade synker ned; derimod holder den anden pind sig vandret i meget lang tid. Hvilken af de to plader har så optaget mest varme?

Bagefter gentages forsøget med en hvid- og en sortmalet plade. De to træpinde holder sig vandrette omtrent lige længe. *En ru flade indsuger mange mørke varmestraler, medens en blank flade kaster dem tilbage. Fladens indsugning er uafhængig af fladens farve.*

Hvorfor overtrækkes kakkelovnsskærme ofte med sølv-papir, og hvorfor anbringer man undertiden et tyndt aluminiumlag på væggen bag en centralvarme-radiator?

Opvarmes et legeme, f. eks. et stykke jern, mere og mere, udsender det flere og flere varmestraler. Når jernet bliver over 525° , begynder det tillige at udsende røde stråler; det bliver rødglødende. Jo mere temperaturen

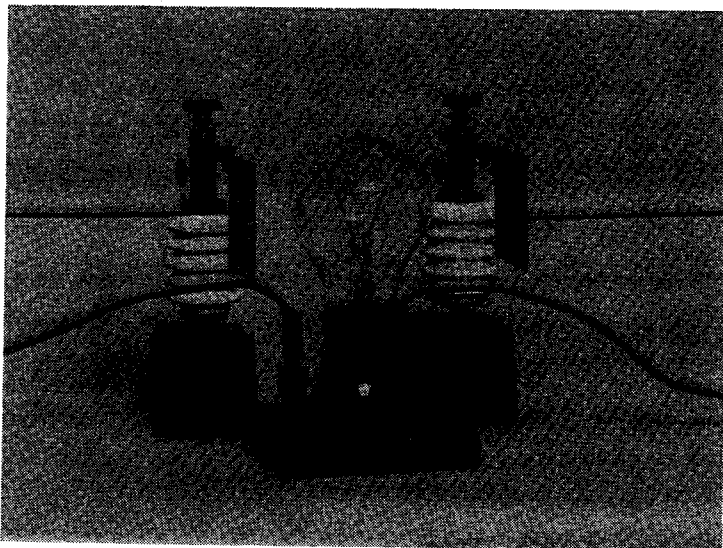


Fig. 37. Indsugning af lyse varmerstråler. Når forsøget udføres, er det praktisk at have de to plader noget nærmere ved pæren end angivet på fotografiet.

stiger over 525° , jo flere stærkt brydbare stråler udsender det, og til sidst bliver jernstykket hvidglødende.

Mørke varmerstråler kan næsten ikke gå gennem glas. Det kan altså ikke være dem, som varmer os op, når vi sidder inde i en stue i solskinsvejr. Opvarmningen hidrører fra lysstrålerne, som derfor kaldes *lyse varmerstråler*.

Bunsenbrænderen i fig. 36 erstattes med en stærktlysende elektrisk pære, og vi gentager forsøget med en hvid og en sort plade. Nu falder pinden på den sorte plade først ned. Langt de fleste af de stråler, som udsendes fra glødelampen, er mørke varmerstråler, som indsuges lige stærkt af de to plader; derimod *indsuges de fleste lyse varmerstråler af den sorte plade, hvorimod de fleste af dem, som rammer den hvide flade, kastes tilbage fra den.*

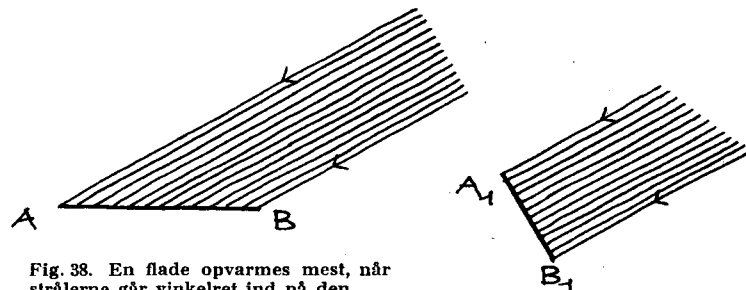


Fig. 38. En flade opvarmes mest, når strålerne går vinkelret ind på den.

Forklar, hvorfor tagene males hvide på slagterier, og hvorfor man maler husets gavl sort, når der skal vokse frugttræer op ad den.

Når vi tager solbad, mærker vi, at solen varmer. Går der en sky for solen, forsvinder varmen straks. Luften mellem skyen og jorden er ikke blevet opvarmet af strålerne; ellers måtte luften, som jo er en dårlig varmeleder, holde sig varm i nogen tid. Den måde, hvorpå atmosfærens nederste lag bliver opvarmet, er følgende: Solstrålerne bliver indsuget af jordoverfladen, som så ved ledning varmer de nederste luftlag op. En tjæret vej indsuger mange varmerstråler (hvorfor?), og derfor kan luften i solskinsvejr være meget varm lige over den.

AB forestiller et vandret liggende bræt af størrelsen 2 cm^2 ; det rammes af et bundt parallelle solstråler. I højre figur rammes et lige så stort strålebundt fladen A_1B_1 , der er vinkelret på strålerne. A_1B_1 er kun 1 cm^2 stor. A_1B_1 's ene kvadratcentimeter modtager altså dobbelt så meget sollys som 1 cm^2 af AB . *Jo mere skråt strålerne falder ind på en flade, desto mindre opvarmes den.*

Hos os falder solstrålerne mere skråt end ved ækvator; der er derfor varmere ved ækvator. Det er varmest om sommeren, bl. a. fordi solstrålerne på denne årstid falder mindre skråt end ellers, og fordi solen er oppe i længere tid.

Med en buelampe, en spalte, en linse og et prisme laves på en skærm et spektrum på nogle centimeters længde. Med et følsomt termometer kan man vise, at der sker en opvarmning på skærmen uden for den røde del af spektret. De stråler, som forårsager opvarmningen, kaldes *infrarøde stråler*; disse stråler er de samme som dem, der tidligere er kaldt mørke varmestråler. Da de kun vanskeligt går gennem linsens og prismets glas, er der ikke megen varmevirkning at konstatere.

Også uden for den anden ende af spektret kommer der stråler. De kaldes *ultraviolette*. De har ingen varmevirkning, men de har kemiske virkninger, således at de f. eks. kan sværte en fotografisk plade.

Anbringes i den ultraviolette del af spektret noget plexiglas af den slags, som anvendes til reklamebogstaver, ser man, at glasset lyser op. Man siger, at det *fluorescerer*. Det modtager altså een slags stråler (ultraviolette), og udsender en anden slags.

På indersiden af et lysstofrør er smurt et fluorescerende stof. Når de ultraviolette stråler fra rørets indre rammer den fluorescerende belægning, udsender den en anden slags stråler, synlige stråler.

Optiske blegemidler, som findes i de forskellige vaskemidler, er stoffer, som sætter sig i vasketøjets fibre. Blegemidlerne kan fluorescere; de optager dagslysets ultraviolette stråling og tilbagekaster den som blå stråling. Tøjets svagt gule farve og denne blå farve er komplementærfarver; tilsammen bevirker de, at tøjet ser ekstra hvidt ud.

Det er de ultraviolette stråler, som gør huden solbrændt; desuden virker strålerne bakteriedræbende. Da de ligesom de infrarøde stråler kun vanskeligt går gennem glas, bliver man ikke solbrændt ved at tage solbad bag lukkede vinduer. I højfjeldssol-lamper anvendes ikke almindeligt glas, men kvartsglas, der lader ultraviolette stråler passere.

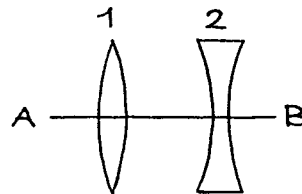


Fig. 39. Samle- og spredelinse.

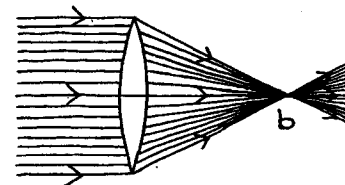


Fig. 40. Parallelle stråler skærer efter brydningen i samlelinsen hverandre i brændpunktet b.

Linser

En linse er en rund glasskive, hvis to sideflader er dele af kugleflader. Er linsen tykkest på midten, kaldes den en *samlelinse* (1 på tegningen); er den tyndest på midten, kaldes den en *spredelinse* (2). Den linie (AB), som går gennem sidefladernes midtpunkter, kaldes *aksen*.

Vi lader solstråler træffe en samlelinse, således at de er parallelle med linsens akse; de brydes både på det sted, hvor de træder ind i glasset, og hvor de træder ud. Efter brydningen krydser de hverandre i et punkt b på aksen, således som tegningen viser. Holder vi her et stykke papir, ser vi en lys plet på papiret, og efter kort tids forløb går der ild i det. *Stråler, der er parallelle med samlelinsens akse, skærer efter brydningen aksens i det samme punkt; det kaldes brændpunktet. Dets afstand fra linsen kaldes brændvidden.* Linsen har to brændpunkter, eet på hver side; de to brændvidder er lige store.

Stråler, der kommer fra brændpunktet, er efter brydningen parallelle med aksens.

Jo stærkere linsen er krummet, desto mere brydes strålerne, desto mindre er altså brændvidden.

Stil et tændt stearinlys på den ene side af en samlelinse i en afstand, der er større end brændvidden, og før en skærm frem og tilbage på den anden side af linsen. Vi ser, at der dannes et omvendt billede af flammen, når skærmen holdes i en bestemt afstand. Flytter vi

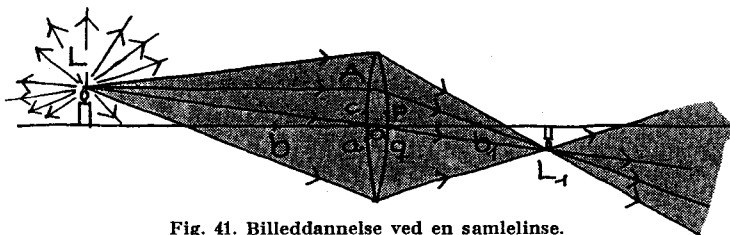


Fig. 41. Billeddannelse ved en samlelinse.

lyset, dannes billedet et andet sted og har en anden størrelse.

Tegningen (fig. 41) viser strålerne gang fra lysets øverste punkt L til det tilsvarende punkt L_1 af billedet; alle de stråler fra L , der træffer linsen, krydser efter brydningen hverandre i L_1 . b og b_1 er linsens brændpunkter. Punktet L_1 kan konstrueres på følgende måde:

I. Strålen LA trækkes parallel med akse; efter brydningen går den gennem brændpunktet b_1 . Strålen brydes egentlig på to steder; ved konstruktionen er vi nødt til at tænke os den brudt kun på eet sted, f. eks. midt inde i linsen. Den fejl, der herved fremkommer på tegningen, er meget lille.

II. Da de små flader ac og pq omtrent er plane og parallelle, kan linsens midterste del $acpq$ betragtes som et stykke rudeglas (vi må tænke os ac og pq meget mindre end på tegningen). Når o er det punkt af akse, som ligger midt mellem linsefladerne, går strålen Lo gennem linsen uden at brydes (se side 24).

Punktet L_1 er skæringspunktet mellem forlængelserne af Lo og Ab_1 .

Fra hvert punkt af flammen udgår der stråler, som efter brydningerne i linsen krydser hverandre i det tilsvarende punkt af billedet. Holder vi derfor øjet til højre for billedet, går der fra dets forskellige punkter stråler ind i øjet, som om billedet var en virkelig genstand, der udsender stråler (dog kun til højre inden for det mørkt tegnede område); vi kan se billedet svæve frit i

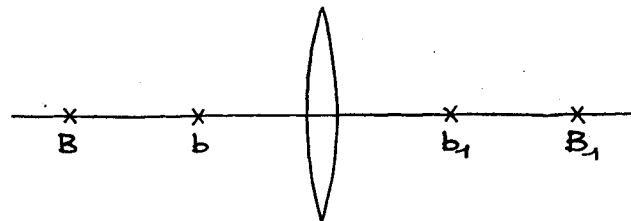


Fig. 42. Brændpunktets beliggenhed.

luften. Holder vi en skærm der, hvor billedet er, kastes strålerne tilbage mod venstre; vi må nu holde øjet til venstre for skærmen for at se billedet. Da strålerne virkelig udgår fra billedet, kaldes det *virtuelt*.

Vender vi linsen op mod solen og finder brændpunktet ved hjælp af et stykke papir, kan vi måle brændvidden. Opfanger vi på papiret billedet af genstande uden for stuen og måler afstanden fra linsen til billedet, ser vi, at billedet af fjerne genstande dannes i en afstand fra linsen, der er lig brændvidden.

Foruden brændpunkterne får vi brug for de to punkter B og B_1 , der ligger på linsens akse, dobbelt så langt fra linsen som brændpunkterne.

Vi bruger nu igen stearinlyset L som genstand og begynder med at stille det langt fra linsen. Ved at nærme lyset mere og mere ser vi, at der gælder følgende regler:

I. Når genstanden nærmes til B , flytter billedet sig fra b_1 hen mod B_1 og vokser i størrelse, men er stadig mindre end genstanden.

II. Når genstanden kommer til B , dannes billedet ved

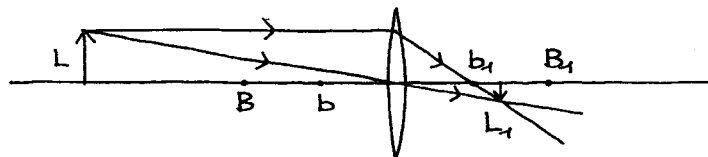


Fig. 43. Genstanden L uden for B . Billedet L_1 er virtuelt, omvendt og formindsket. Det ligger mellem b_1 og B_1 .

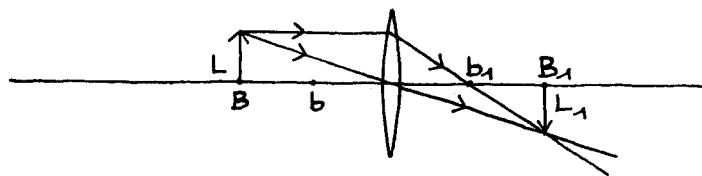


Fig. 44. L går gennem B , L_1 gennem B_1 . Billedet er virkeligt, omvendt og har samme størrelse som genstanden.

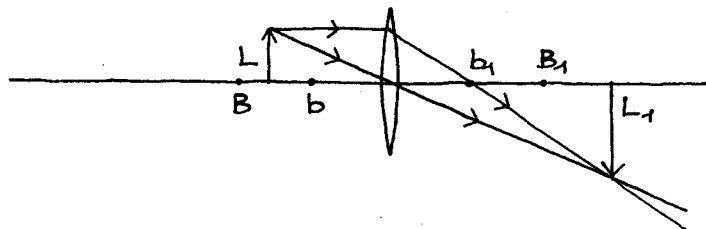


Fig. 45. L befinder sig mellem B og b . Billedet er virkeligt, omvendt og forstørret. Det dannes uden for B_1 .

B_1 og er lige så stort som genstanden. (Genstand og billede ligger nu lige langt fra linsen).

III. Når genstanden flyttes fra B hen mod b , fjerner billedet sig hurtigt fra B_1 til højre og vokser i størrelse; det er større end genstanden.

IV. Billedet er omvendt og virkeligt.

Når genstanden kommer til b , er billedet uendelig langt borte og uendelig stort, d.v.s. der dannes intet billede.

Spredelinsen. Ser vi på en ting gennem en spredelinse, er billedet altid formindsket, opret og indbildt; det kan altså ikke opfanges på en skærm. Tegningen viser gangen af stråler, som er parallelle med linsens akse. Efter brydningen spredes strålerne bort fra akse, som om de kom fra punktet b . b kaldes brændpunktet, det er indbildt. Kan der gå ild i et stykke papir, som holdes i brændpunktet, hvis vi holder spredelinsen op mod solen?

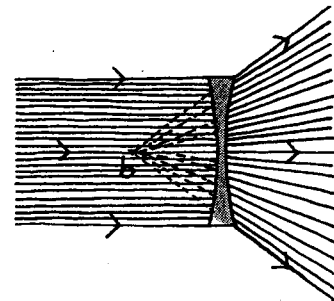


Fig. 46. Spredelinsen har et indbildt brændpunkt.

Fotografiapparat og lysbilledapparat

Et fotografiapparat kan være til at klappe sammen, så det ikke fylder så meget. Fig. 47 viser apparatet i udtrukket tilstand. I den bageste del, ved B , har vi den fotografiske film. Ved at dreje på skruen S kan man få et nyt stykke af filmen frem. I den modsatte ende af apparatet findes linsen L , som skal danne et skarpt billede G af genstanden G . For at opnå dette er linsen til at skyde frem og tilbage.

Fotografiapparatet er normalt lukket lystæt til; kun under selve fotograferingen bliver filmen belyst. Belysningstiden er som regel ganske kort, f. eks. $\frac{1}{50}$ sekund, og i denne korte tid bliver sølvbromidet på den fotografiske hinde påvirket af lysstrålerne, så der dannes et ganske svagt billede.

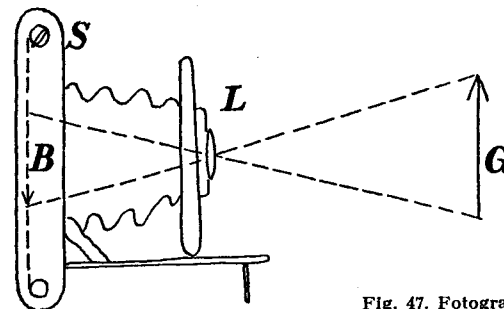


Fig. 47. Fotografiapparatet.

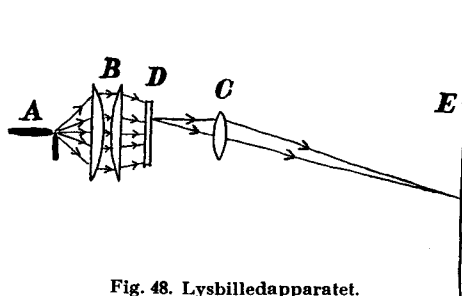


Fig. 48. Lysbilledapparatet.

Når filmen er færdigfotograferet, er den rullet lystæt op på en spole. Hos fotografen bliver det svage billede forstærket op og det resterende sølvbromid fjernet, så filmen ikke mere er lysfølsom. Billedet kaldes et negativ, og dette benyttes til at fremstille et sædvanligt billede.

Fig. 48 forestiller et lysbilledapparat. Indesluttet i en kasse findes en kraftig lysgiver, på figuren buelampen A. Herfra sendes der lys gennem de store linser B, som samler lyset ned mod lysbilledet D. C er en linse, der er anbragt sådan, at D befinder sig imellem brændviddens og den dobbelte brændviddens afstand fra linsen. Der dannes altså et omvendt, forstørret og virkeligt billede af D. Linsen C skydes frem og tilbage, indtil der kommer et skarpt billede på skærmen E. For at få et opret billede på skærmen, må lysbilledet være anbragt på hovedet.

Øjet og briller

Øjet. Øjet består yderst af en stærk, hvid hinde, *senehinden S*, som fortil går over i den gennemsigtige *hornhinde H*. Senehinden er indvendig beklædt med en mørk hinde, *årehinden*, der indeholder et sort farvestof, som indsuger det lys, der falder på det og således forhindrer forstyrrende tilbagekastning af lys fra det indre af øjet.

Indenfor årehinden findes en tynd hinde, *nethinden*, hvori *synsnerven N* forgrener sig. Nerveenderne er i forbindelse med lysfølsomme celler, der kaldes *tappe* og *stave*. Det er tappene, som normalt anvendes, men kommer man ud for en ringe belysning, anvendes stavene.

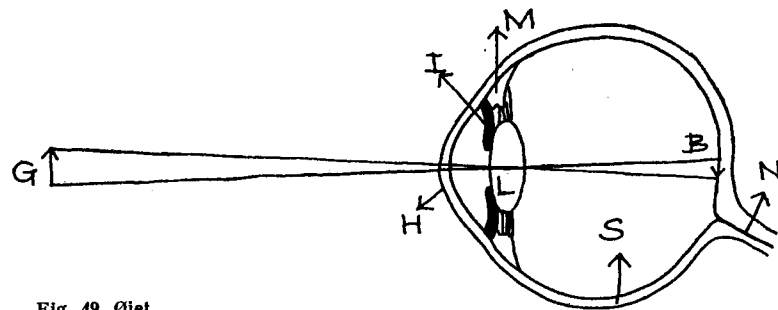


Fig. 49. Øjet.

Disse er ikke farvefølsomme, hvorfor man ikke opfatter farver i ganske svag belysning.

Foran i øjet har vi *I*, *regnbuehinden* eller *iris*, hvori findes et hul, *pupillen*. Pupillens størrelse ændrer sig med belysningen, således at den er stor om natten, men lille om dagen. Bag pupillen findes *øjelinsen L*.

Linsen er elastisk, og blev den overladt til sig selv, ville den krumme sig stærkt ligesom en gummiblære, der er fyldt med vand. Men linsen er ved en mængde tråde gjort fast til en ringformet muskel, ved hjælp af hvilken linsens krumning kan variere.

Når lys kommer ind i øjet, sker der brydning forskellige steder, hovedsagelig dog ved overgangen mellem luft og hornhinde samt inde i øjet ved linsen.

I dette afsnit taler vi kun om det normale øje. Det nærsynede og det langsynede skal vi høre om i afsnittet om briller.

Når vi ser på en genstand G, skal der dannes et billede af den på øjets baggrund. Vi vil tænke os, at vi først ser på en fjern genstand, og at billedet netop dannes på øjets baggrund. Ser vi nu på en nærmere genstand, dannes billedet af denne længere borte fra linsen, det vil sige bag øjet. Hvis linsen var uforanderlig, kunne øjet altså kun se fjernere genstande. Ved hjælp af den ringformede muskel gøres automatisk linsen krummere. Her ved rykker dens brændpunkt nærmere hen til den; bil-

ledet rykker med, og vi kan sørge for, at det netop dannes på øjets baggrund. Denne evne til at forandre øjelinsens krumning kaldes *akkommodationsevnen*.

Er genstanden nået ind på en afstand på en halv snes centimeter fra øjet, kan dette ikke akkomodere så meget, at vi kan se genstanden skarpt, og man siger, at genstanden er nået til øjets *nærpunkt*.

Det er mindst trættende at se små ting, som f. eks. bogstaver i en bog, i en afstand på omkring 25 cm. Denne afstand kaldes *den tydelige synsviddes afstand*.

Briller. *A* og *B* er to samlelinser med fælles akse. *A* rammes af stråler, der er parallelle med akse: de ville krydse hverandre i *A*'s brændpunkt *b*, hvis *B* ikke var der. *B* samler strålerne mere, så at de krydser hverandre i *a*. To samlelinser, der er nær ved hinanden, forholder sig som en samlelinse med kort brændvidde. Erstatte vi *B* med en svagt buet spredelinse *C*, spreder den strålerne lidt, så at de først krydser hverandre i et punkt *c*, der ligger til højre for *b*. En samlelinse og en svagt buet spredelinse forholder sig som en samlelinse med en brændvidde, der er større end samlelinsens.

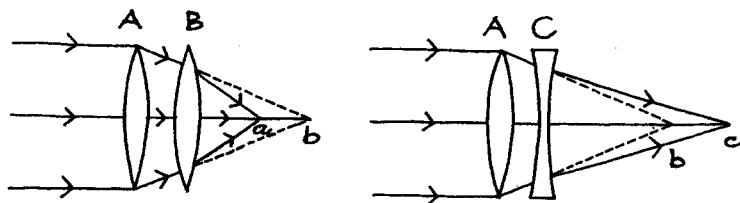


Fig. 50. To samlelinser og en samle- og spredelinse sat sammen.

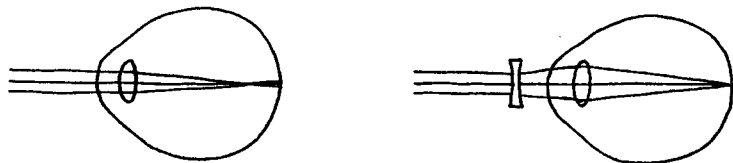


Fig. 51. Det nærsynede øje uden og med et brilleglas, der er en spredelinse. For simpelhedsskyld er der kun vist brydning et sted i øjet.

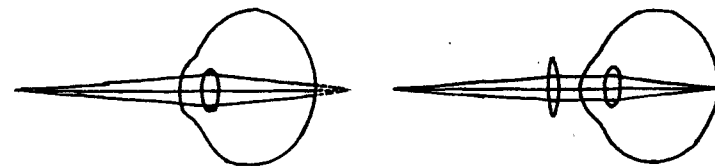


Fig. 52. Skal man med et langsynet øje se forholdsvis nære genstande tydeligt, må man anvende et brilleglas, som er en samlelinse.

Et nærsynet menneskes øje er enten længere end normalt, eller også er hornhinden for stærkt krummet.

Billedet af en meget fjern genstand dannes inde i selve øjet foran nethinden. Vi lærte før, at en samlelinse og en svagt buet spredelinse tilsammen virker som en samlelinse med større brændvidde end samlelinsens. Hvis vi derfor skal have billedet af den fjerne genstand til at dannes på øjets nethinde, må vi anvende brilleglas af form som en spredelinse.

Et langsynet menneskes øje er enten kortere end normalt, eller også krummer hornhinden for svagt. Øjet kan ikke bryde lyset så stærkt, at billedet af nære genstande dannes på nethinden. Denne ulempe kan afhjælpes ved, at man anvender briller, der har form som samlelinser.

Når man bliver ældre, bliver øjnens akkomodations-evne ringere, og det kniber med at se nære genstande tydeligt. Er øjet i øvrigt normalt, vil man stadig kunne se fjerne genstande tydeligt, medens man må anvende briller, hvis glas er samlelinser, for at kunne iagttage nære genstande.

Lupen

Samlelinsen som lup. Når en samlelinse bruges som lup, skal genstanden ligge inden for brændpunktet. Tegningen viser gangen af de stråler, som udgår fra genstandens øverste punkt *A* og rammer linsen. Efter brydningen går de til højre, som om de kom fra punktet *A*₁. For at konstruere *A*₁ tegner vi strålen *AB* parallel med linsens akse; efter brydningen går den gennem brændpunktet *b*₁.

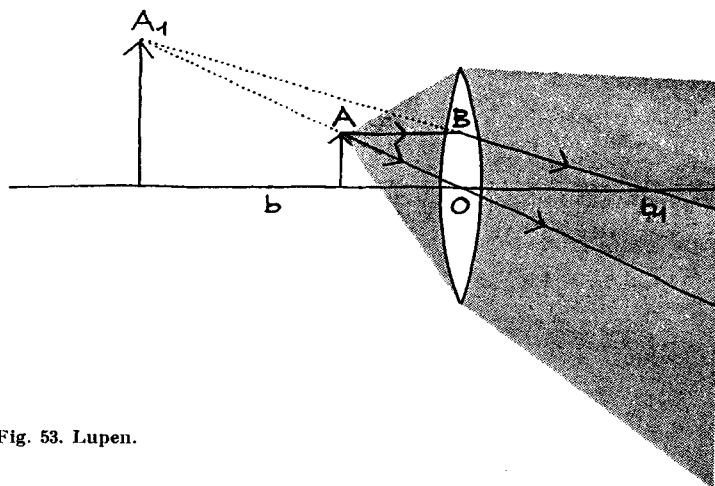


Fig. 53. Lupen.

Strålen AO går ubrudt gennem linsens midte. Forlænges AO og Bb_1 til venstre, skærer de hinanden i A_1 .

Ligger genstanden inden for brændpunktet, dannes der et indbildt, opret, forstørret billede. En linse med kort brændvidde forstørrer bedst.

På hvilken side af linsen skal man holde øjet for at se billedet?

Flytter vi lupen, forandres genstandens og dermed også billedets afstand fra den. Når vi vil se billedet skarpt uden at anstrenge øjet, må afstanden fra øjet til billedet være lig den tydelige synsviddes afstand.

Kikkerter

Den astronomiske kikkert. Vi stiller en samlelinse O med ret stor brændvidde på bordet. På et andet bord 5 å 6 m borte stiller vi et tændt lys således, at lysets flamme er i linsens akse. Hvis vi dæmper lyset i stuen ned, kan vi ved at føre et stykke papir frem og tilbage bag ved linsen finde et sted, hvor der dannes et skarpt og stærkt formindsket billede af flammen. Lidt længere tilbage anbringer vi en samlelinse o med kort brændvidde, således at de

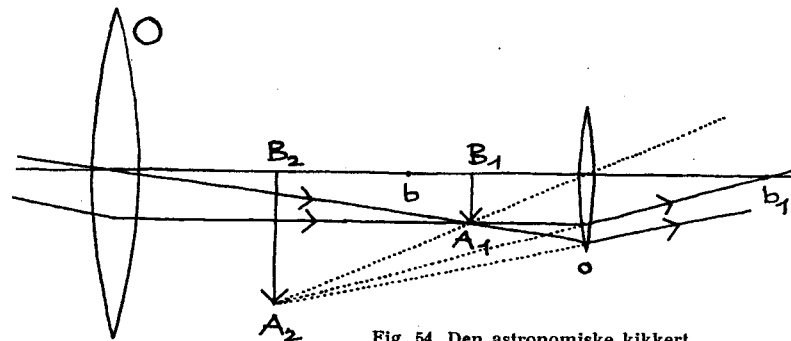


Fig. 54. Den astronomiske kikkert.

to linsers akser falder sammen. Når vi holder øjet tæt ind til den sidste linse, kan vi ved at flytte lidt på linsen få et omvendt og forstørret billede af flammen at se. Hænger vi en avis med bogstaverne vendt på hovedet tæt bag ved lyset, kan vi trods den store afstand tydelig læse teksten.

Den astronomiske kikkert består i sin simpleste form af to samlelinser (O og o), der er anbragt i enderne af et rør. O er en flad linse med stor brændvidde; den kaldes *objektivet*. Den danner et omvendt, formindsket, virkeligt billede (A_1B_1) af en fjern genstand, som vi må tænke os langt til venstre. Billedet ligger i en afstand fra objektivet, der er lig dets brændvidde.

Der er på figuren kun tegnet to af de stråler, der kommer fra genstandens øverste punkt og samles i den nederste spids af A_1B_1 . Strålerne fortsætter mod højre og brydes i lupen o , der kaldes *okularet*. A_1B_1 må ligge inden for okulalets brændpunkt. Efter brydningen i okularet går strålerne til højre, som om de kom fra A_2B_2 . Afstanden fra øjet til A_2B_2 skal være lig den tydelige synsviddes afstand; for at man kan opnå dette, er okularet til at skyde frem og tilbage.

Da man i denne kikkert ser tingene omvendt, egner den sig kun til astronomisk brug. Den er opfundet af den tyske astronom Johannes Kepler.

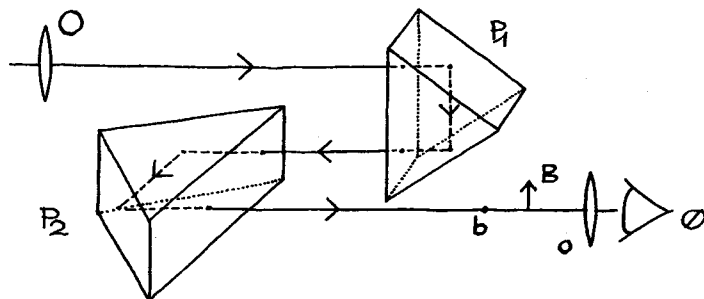


Fig. 55. Strålegangen i en prismekikkert. Prismet P_1 vender om på »op og ned« (se fig. 27). P_2 vender om på højre og venstre. Tilsammen virker de som en vendelinse.

Prismekikkerten. Til almindelig brug må kikkerten indrettes således, at man ser tingene opret i den. Det kan gøres ved, at der mellem objektiv og okular findes en linse, en vendelinse, som vender objektivbilledet om. Ser man gennem okulalet i en sådan kikkert, ses billedet opret. Kikkerten har den store ulempe, at den er meget lang og derfor uhåndterlig.

Man bruger hellere en kikkert som den, fig. 55 antyder. Mellem objektiv O og okular o er der indskudt to prismer P_1 og P_2 , stillet sådan, at der er fuldstændig tilbagekastning fra sidefladerne. Disse prismer virker tilsammen som vendelinsen, vi lige har hørt om; de vender om på det billede, objektivet danner, så der i stedet fremkommer det oprette billede B . Okulalet virker på sædvanlig måde som lup med brændpunktet i b .

Linserne og prismerne er lukket inde i et hylster. Prismekikkerten består i virkeligheden af to kikkerte, en til hvert øje. Da prismerne skal slibes meget fint og anbringes omhyggeligt, og da man i praksis lader både objektiv og okular bestå af flere linser sat sammen, bliver en prismekikkert meget dyr.

En *teaterkikkert* har også en kikkert til hvert øje. Hver af kikkerterne har to linser, et objektiv, der er en samlelinse, og et okular, som er en spredelinse.

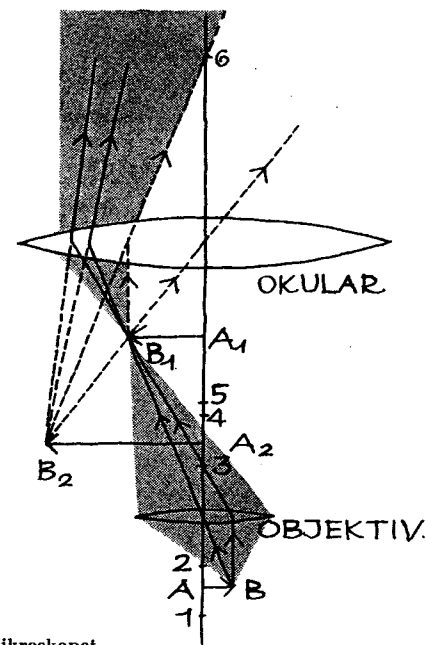


Fig. 56. Mikroskopet.

Mikroskopet

Mikroskopet består af to samlelinser, objektiv og okular, der er anbragt i enderne af et rør, som ikke er tegnet med i fig. 56. 2 og 3 er objektivets brændpunkter. 1 og 4 de punkter, der ligger dobbelt så langt borte; 5 og 6 er okulalets brændpunkter. Den genstand, AB , der skal forstørres, anbringes under objektivet i en afstand, der er lidt større end brændvidden (mellem 1 og 2). Objektivet danner da et omvendt, virkeligt, forstørret billede A_1B_1 af genstanden. Fra B er tegnet de to stråler, der skal benyttes for at konstruere B_1 .

B_1 er et virkeligt billede, hvorfra der går stråler bort; de går opad og rammer okulalet, der virker som en lup og danner det indbildte billede B_2 . Til konstruktionen af

B_2 har vi benyttet de to punkterede stråler; de kommer i virkeligheden ikke fra B_1 og benyttes kun ved konstruktionen. Så snart vi har fundet B_2 , er det nemt at angive, hvordan de øvrige stråler bliver brudt i okulalet.

Når vi kikker gennem okulalet, ser vi det forstørrede billede A_2B_2 . Hvis A_1B_1 er 20 gange så lang som AB , og A_2B_2 5 gange så lang som A_1B_1 , forstørres mikroskopet 100 gange. Genstanden AB ligger på en tynd glasplade. Den må belyses stærkt, for at billedet, vi ser gennem okulalet, ikke skal blive for lyssvagt.

Katodestråler og røntgenstråler

Fig. 57 viser et bræt med en række forskellige rør, de såkaldte Geisslers rør, der er udpumpede i forskellig grad. I rørenes ender er der indsmeltet platintråde, der ender i øskner. Disse sættes ved hjælp af kobbertråde i forbindelse med induktionsapparatets ydre ledning. Det viser sig, at der kan gå en elektrisk strøm gennem rørene med den fortyndede luft, og at denne kommer til at lyse. Lysudsendelsens art afhænger af, hvor megen luft der er pumpet ud af røret. Måske lyser al luften i røret, måske kun en del, og måske ligger de lysende dele i lag med mørke mellemrum. Er der pumpet megen luft ud, kommer selve glasset til at lyse. Når denne lysning skal undersøges, bruger man gerne rør af den slags, som ses på fig. 58.

På enden af den ene platintråd (K) sidder der en skive af aluminium; på enden af den anden er der et kors af aluminium. Sættes K , der kaldes katoden, i forbindelse med induktionsapparatets negative pol, og A (anoden) i forbindelse med den

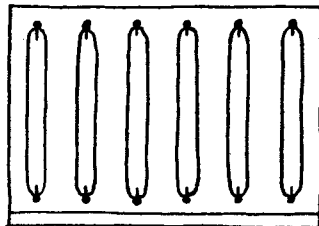


Fig. 57. Bræt med Geisslers rør.

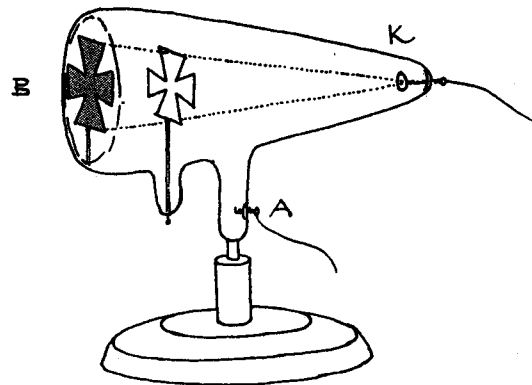


Fig. 58. Rør med skyggekors.

positive, lyser luften i røret ikke, derimod lyser glasset med en grønlig farve, særlig ved rørets ende B . Ved B ser man en skarp skygge af korset. Heraf slutter man, at der fra aluminiumpladen ved K udgår stråler; de kaldes *katodestråler*. Nærmer man en magnetpol til røret, flytter korsets skygge sig. Man kan vise, at katodestrålerne består af elektricitetsdele, de såkaldte *elektroner*.

Fra en glødende metaltråd udgår der også elektroner, des flere jo højere temperaturen er. Dette benytter man sig af i

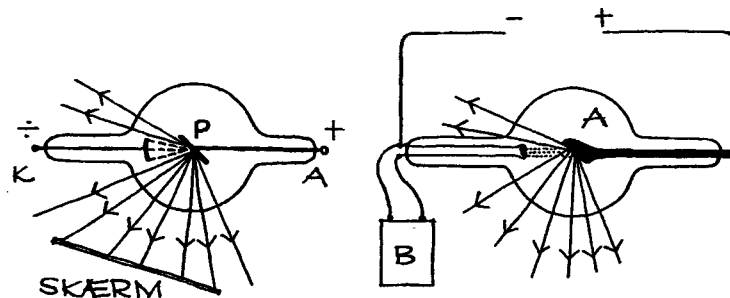


Fig. 59. Ældre og moderne røntgenrør. I venstre figur er der en stor spændingsforskel mellem A og K . Ligesom i apparatet med skyggekorsens udsendes der elektroner fra K . De rammer metalpladen P , og dette bevirker, at der udsendes røntgenstråler fra den. Anbringes hånden mellem P og skærmen, kan man, hvis der er mørkt i lokalet, på skærmen iagttage håndens knogler.

I det andet røntgenrør udsendes elektronerne fra en glødende metaltråd i forb. m. batteriet B . De tiltrækkes af metalstangen A , der har en meget høj positiv spænding. Som i forrige rør udsendes der røntgenstråler, hvor elektronerne rammer metalstangen.

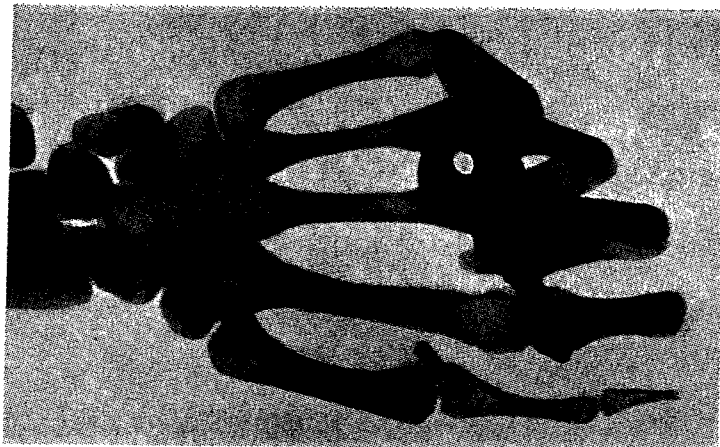


Fig. 60. Et røntgenbillede af en lukket hånd, hvori der er gemt en nøgle.

moderne røntgenrør. På fig. 59, højre figur, er der en wolfram-tråd, hvorigennem sendes en elektrisk strøm, så tråden bliver hvidglødende. De udsendte elektroner tiltrækkes af anoden, som har en meget høj positiv spænding, og de rammer den med en enorm fart. Idet de bremses ved sammenstødet, opstår der en særlig slags stråling, der kaldes *røntgenstråling*. Denne er usynlig, men rammer den i et mørkt værelse en skærm hvorpå der er smurt zinksulfid eller barium-platincyanur, ser vi skærmen lyse op. Holder vi mellem røntgenrøret og skærmen en hånd eller en pung, ser vi på skærmen et skyggebillede af håndens knogler eller pengene i pungen. Røntgenstråler går meget nemmere gennem kød end gennem ben.

Røntgenstråler har mange anvendelser. F. eks. anvendes de af lægerne til at undersøge, om en tilskadekommen har et brud på knoglerne.

Bevægelse

Vi siger, at et legeme har en *jævn* bevægelse, hvis det bevæger sig lige langt i lige store tidsrum. Står hastighedsmåleren i en bil stadigvæk på tallet 36, betyder det, at bilen i en time kører 36 km eller 36000 meter. I et minut kører den $36000/60 = 600$ m og i et sekund $600/60 = 10$ m. Man siger, at bilens *hastighed* eller *fart* er 36 km i timen eller 10 m i sekundet. Hastigheden i en jævn bevægelse er den vejlængde, som tilbagelægges i et sekund eller i en time.

Når bilen skal starte, peger hastighedsmålerens viser på større og større tal. Vi kalder nu bevægelsen for *ujævn*. Et øjeblik står viseren måske på tallet 25, og vi siger da, at hastigheden i dette øjeblik er 25 km i timen. Det betyder, at fortsatte bilen i en hel time med hastighedsmålerens viser på det samme sted af skalaen, havde bilen bevæget sig 25 km. Når hastigheden forøges, siger man, at bilen *akcelererer*.

Når et legeme, som ligger stille, begynder at bevæge sig, kan vi altid påvise, at et andet legeme er årsag til bevægelsen. Nærmer vi en gneden plexiglas-stang til en stump papir, kommer papiret i bevægelse; her er det glasstangen, som er årsag til bevægelsen. Hvilke legemer er årsag til bevægelsen, når en synål farer hen til magneten, og når dampmaskinens stempel begynder at bevæge sig?

Når et legeme forandrer hastighed, er der altid et andet legeme, som er årsag til forandringen. Vi støder til en bog, så at den glider hen ad bordet. Ujævnheder i bordpladen griber ind i ujævnheder i bogens underflade og

standser snart bogen. Det er den ujævne bordplade, der er årsag til hastighedsforandringen; jo glattere bordet er, jo længere glider bogen.

Når et legeme forandrer bevægelsesretning, er et andet legeme altid skyld deri. Når en kugle løber rundt i en cirkelformet rende, er det rendens ydervæg, der tvinger kuglen til at løbe i den krumme bane.

Et legeme, som forandrer hastighed eller bevægelsesretning, må altså være påvirket af andre legemer. *En påvirkning, som kan forandre et legemes hastighed eller bevægelsesretning, kaldes en kraft.* Dens størrelse måles ved hjælp af en fjedervægt.

Eksempler på kræfter. For at antyde, hvorfra kræfterne stammer, giver man dem forskellige navne, f. eks. *elektrisk kraft* og *magnetisk kraft*.

Den modstand, der fremkommer, når et legeme glider hen over et andet legeme, kaldes *gnidningsmodstand*.

Vi fører en papplade gennem luften med voksende hastighed (pladen vinkelret på bevægelsesretningen); vi mærker, at luften gør modstand mod bevægelsen. Denne modstand kaldes *luftmodstanden*; den er størst, når pladen er stor og bevæges hurtigt.

Holder vi en sten i hånden, mærker vi en påvirkning nedad i hånden. Den kraft, hvormed jorden påvirker et legeme, kaldes *tyngdekraften*; den er i størrelse lig legemets vægt.

Strammer vi en gummisnor, forsøger den at trække sig sammen og frembringer derved et træk i hænderne. Alle legemer, hvis form man har forandret, stræber mere eller mindre efter at antage den oprindelige form; man siger, at de er mere eller mindre *elastiske*. Legemers *elasticitet* er tit årsag til kræfter. Binder vi en sten i en snor og slynger stenen rundt, strammes snoren og bliver lidt længere; vi kan se det, hvis snoren er af gummi. *Snoren stræber efter at trække sig sammen og frembringer der-*

ved det træk i stenen, som uafbrudt forandrer dens bevægelsesretning.

Et legeme er altid påvirket af andre legemer; vi kan f. eks. ikke befri et legeme for jordens påvirkning (tyngdekraften). Men påvirkningerne giver sig ikke altid til kende ved at forandre legemets hastighed eller bevægelsesretning. En ting, der ligger på et bord, frembringer en lille fordybning i bordet. Hvis tyngdekraften pludselig forsvandt, ville fordybningen rette sig ud og slynge tingen til vejrs; til gengæld ville tingen falde, hvis bordet ikke var der. Bordets kraftvirkning på tingen og tyngdekraften ophæver hinanden.

Normalt bemærker vi ikke, at der kommer en fordybning, når vi trykker på en ting. Med flasken i fig. 61 kan det dog lade sig gøre. Flasken har et aflangt tværsnit og er forsynet med en gummiprop og et glastrør med snævert tværsnit. Flasken er fyldt med en farvet vædske, som når op midt i glastrøret. Vi trykker med et par fingre ind på flaskens brede sider; da vædsken

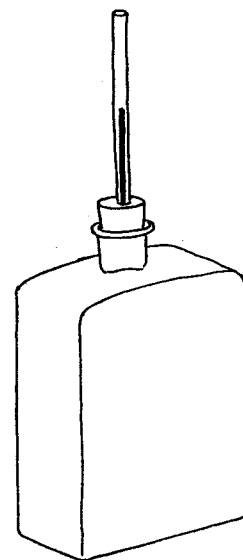


Fig. 61. Flaskens rumfang ændres, når der trykkes på siderne.

stiger op i glaserøret, må vi med fingrene have lavet en fordybning i flasken.

Vi trykker derefter ind på de smalle sider og opdager, at nu synker vædskeoverfladen. Forklaringen er den, at når vi trykker ind på de smalle sider, vil de brede bule lidt ud, så vædsken får lidt mere plads end normalt.

Triller vi en kugle hen ad en isflade, ophæves tyngdekraften af isens modkraft, men kuglen standses efterhånden af gnidningsmodstand og luftmodstand. Jo glattere isen er, jo længere løber kuglen; vi må antage, at kuglen ikke ville forandre hastighed, hvis vi helt kunne fjerne gnidningsmodstand og luftmodstand. *Så længe et legeme kun er underkastet påvirkninger, der ophæver hinanden, må det enten ligge stille eller bevæge sig i ret linie med uforandret hastighed.* Denne regel kaldes *inertiens lov*.

Eksempler: Hvis vi taber en mønt inde i en sporvogn, der er i fart, viser det sig, at mønten når gulvet et sted, som ligger lige under hånden. Også imens mønten falder ned, deltager den derfor i sporvognens fart fremefter. På samme måde går det med en mand, som springer af sporvognen, inden den er standset fuldstændig. Hvis manden ikke giver sig til at løbe, vil benene standses, når de rammer jorden. Overkroppen har derimod samme hastighed som sporvognen, og manden vil falde forover i samme retning, som sporvognen kører.

En sten kastes skråt op i luften; hvorfor er dens bevægelse ikke retlinet og jævn?

Når et legeme virker på et andet, virker dette altid tilbage på det første med en lige så stor kraft, der går i modsat retning. En bold, der rammer en væg, trykker på væggen; væggens modtryk får bolden til at springe tilbage. Magneten tiltrækker et stykke jern; jernet trækker lige så stærkt i magneten. De to kræfter kaldes *aktion* og *reaktion*; de ophæver ikke hinanden, da de virker på to forskellige legemer.

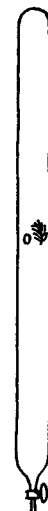


Fig. 62. Glasrør med en fjer og en blyklump. Holder vi røret lodret, ligger fjerens og blyklumpen på bunden. Vender røret hurtigt om, ser vi, at blystykket falder hurtigere end fjerens.

Pumper vi derimod luften ud af røret, og gør vi forsøget om, finder vi, at fjerens og blyet falder omtrent lige hurtigt. I lufttomt rum falder alle legemer lige hurtigt.

Legemers fald gennem luften

Tag en stump papir i den ene hånd og en blyant i den anden og lad dem samtidig falde fra samme højde; blyanten når gulvet før papiret. *Lette legemer med stor overflade falder langsomt på grund af luftmodstanden.* Af forsøg, som er nøjagtigere end det, der beskrives i fig. 62, får man, at i lufttomt rum falder alle legemer lige hurtigt.

Et legeme, der falder gennem luften, er påvirket af tyngdekraften, der virker lodret nedad, og luftmodstanden, der virker lodret opad. *Når papir, fjer eller snefnug falder, kan luftmodstanden blive lige så stor som tyngdekraften og ophæve den; bevægelsen bliver da jævn ifølge inertiens lov.*

Vi skal nu have at vide, hvilke regler der gælder for faldet, når luftmodstanden er meget lille i sammenligning med tyngdekraften; dette finder f. eks. sted, når en sten falder.

Under faldet trækker jorden hele tiden lige stærkt i ste-

nen. Vi kan se det ved at veje stenen på en fjedervægt nede ved jordens overflade og højere oppe; den vejer lige meget begge steder. *Stenens fald er altså en bevægelse, hvor kraften hele tiden er lige stor; man siger, at kraften er konstant.* Men stenens fald foregår så hurtigt, at vi ikke kan følge den med øjnene. Vi vil derfor undersøge en anden bevægelse, der foregår langsommere, men hvor kraften også er konstant. Dette kan ske på flere måder.

Skråplanet. Vi lader en kugle trille ned ad et glat skråplan, hvis højde er lille i sammenligning med længden. Den kraft P , som frembringer bevægelsen (se fig. 69 side 63), er konstant og mange gange mindre end tyngdekraften; bevægelsen bliver derfor så langsom, at vi kan følge den med øjnene. Vi afmærker, hvor langt kuglen er kommet efter 4 sekunders forløb. Den kan f. eks. have bevæget sig 160 cm.

Så stilles klodsen K_2 80 cm fra begyndelsesstillingen. Det viser sig, at kuglen er mere end 2 sekunder om at nå klodsen. Vi skal flytte klodsen til en afstand af 40 cm fra begyndelsesstillingen, for at kuglen skal være 2 sekunder om at nå den. På 2 sekunder er den tilbagelagte vej altså kun en fjerdedel af den, som tilbagelægges på 4 sekunder. Vi prøver at stille klodsen en fjerdedel af 40 cm = 10 cm fra begyndelsesstillingen, og det viser sig, at kug-

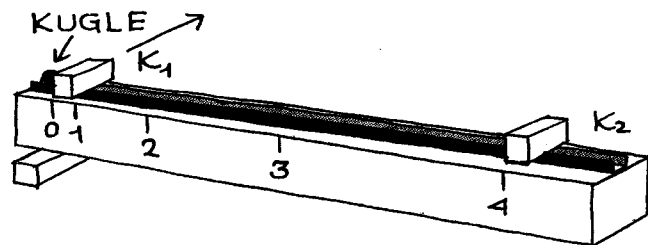


Fig. 63. Skråplanet. Kuglen er anbragt bag ved K_1 . K_1 og K_2 er træklodser. Når kuglen skal til at løbe, fjernes K_1 , idet den føres i pilens retning. Tiden måles med en metronom, d. v. s. et urværk, der giver et tydeligt slag, f. eks. hvert sekund. Metronomen behøver dog ikke at indstilles til at give sekundslag, da loven gælder, selv om tidsenheden ikke er et sekund.

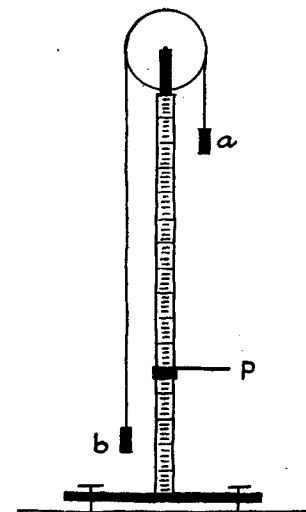


Fig. 64. Faldmaskine.

len er 1 sekund om at trille det stykke. I 3 sekunder gennemløbes en vej på 90 cm.

Vi ser på længderne: 10 cm, 40 cm, 90 cm og 160 cm og opdager, at de kan skrives som 10 cm, $10 \cdot 2^2$ cm, $10 \cdot 3^2$ cm og $10 \cdot 4^2$ cm. *Under en bevægelse, hvor kraften er konstant, går legemet i 2, 3 og 4 sekunder 2^2 , 3^2 og 4^2 gange så langt som i 1 sekund.*

Faldmaskinen (fig. 64) består af en høj, inddelt stang, der er anbragt på en fod og kan stilles lodret ved hjælp af tre stille-skruer i foden; P er en plade, der kan skydes op og ned. Foroven bærer stangen et letløbende hjul med en fure i kanten. Over hjulet er der lagt en tynd snor, i hvis ender der hænger to lige tunge lodder (a og b). Til måling af tiden kan vi anvende en metronom, d. v. s. et urværk, der giver et tydeligt slag, f. eks. hvert sekund. Metronomen behøver dog ikke at indstilles til at give sekundslag, da loven gælder, selv om tidsenheden ikke er et sekund.

Af en tyk kobbertråd klipper vi et stykke på nogle centimeters længde. Vi holder loddet a således, at dets underkant er i højde med målestokkens øverste inddeling og lægger kobbertråden ovenpå. Giver vi slip, går loddet a med kobbertråden nedad, loddet b går opad. De to lodder trækker lige stærkt

hver til sin side, fordi de er lige tunge. *Tyngdens træk i kobbertråden er den konstante kraft, der alene frembringer bevægelsen; denne bliver langsom, fordi kobbertråden skal slæbe begge lodderne med sig, mens den falder.*

Vi sætter pladen *P* i en sådan stilling, at loddet *a* rammer den 4 sekunder efter, at faldet begyndte. Lad det stykke, som *a* har bevæget sig, være f. eks. 160 cm. Dernæst stilles pladen 80 cm under loddets begyndelsesstilling. Det viser sig, at loddet er mere end 2 sekunder om at nå ned til pladen. Vi skal flytte pladen meget højere op, helt op til 40 cm-mærket, for at loddet skal være 2 sekunder om at nå den. På 2 sekunder er den tilbagelagte vej altså kun en fjerdedel af den, som tilbagelægges i 4 sekunder. Vi prøver med en fjerdedel af 40 cm = 10 cm, og det viser sig at være vejstrækningen i 1 sekund. I 3 sekunder gennemløbes en vej på 90 cm.

Vi ser på længderne: 10 cm, 40 cm, 90 cm og 160 cm og opdager, at de kan skrives som 10 cm, $10 \cdot 2^2$ cm, $10 \cdot 3^2$ cm og $10 \cdot 4^2$ cm. Under en bevægelse, hvor kraften er konstant, går legemet i 2, 3 og 4 sekunder 2^2 , 3^2 og 4^2 gange så langt som i 1 sekund.

Den fundne regel gælder for enhver bevægelse, hvor kraften er konstant; den gælder altså også, når en sten eller et andet tungt legeme falder gennem luften. Blot skal luftmodstanden være meget lille i sammenligning med legemets vægt.

Ved andre forsøg har man fundet, at et legeme, hvis fald ikke forsinkes, falder 5 meter i første sekund. I 2 sekunder falder det $5 \cdot 2^2 = 20$ meter. Hvor langt falder det i 10 sekunder og i 1 minut? Hvor langt falder det i det 10ende sekund?

Kræfters sammensætning og opløsning

I fig. 65's øverste tegning har vi en snor, der i den venstre ende er gjort fast til en krog *K* i væggen. Den anden ende er bundet til fingeren, som påvirker snoren med en kraft til højre. Herved spændes snoren, og den bliver lidt længere, hvilket kan ses, hvis den er lavet af elastik. Krogen *K* bliver af snoren påvirket af en kraft til højre. Hvis vi vil undersøge størrelsen af denne kraft, kan vi bære os ad som i midterste figur, hvor

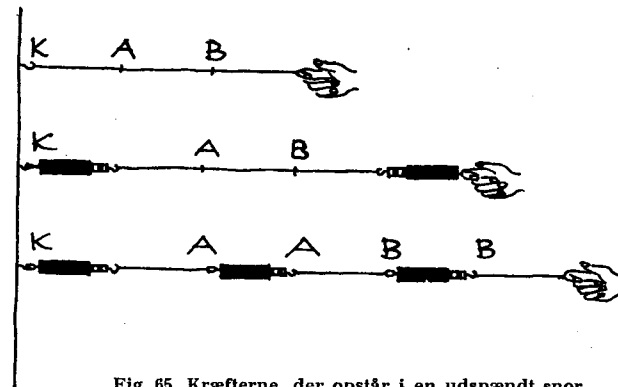


Fig. 65. Kræfterne, der opstår i en udspændt snor.

man har anbragt fjedervægte ved krogen og ved hånden. (Fjedervægte anvendes jo netop til måling af kræfter). Forsøget viser, at snoren påvirker *K* med en kraft, der er lige så stor som den, hvormed hånden påvirker snoren.

Endelig skærer vi snoren over ved *A* og *B* og anbringer fjedervægte mellem trådstykkerne. Nu måler vi spændingen de to steder i snoren. Resultatet er, at snorspændingen er den samme overalt i snoren og lige så stor som kraften, hvormed *K* bliver påvirket.

I en papskive borer vi et hul *a*, binder en tråd fast ved *a* og trækker skiven hen ad bordet (fig. 66). Skiven er påvirket af en kraft, som er lige så stor som fingerens træk i snoren. Stik en knappenål gennem *a* ned i bordet og træk i tråden; skiven rører sig ikke.

Stik knappenålen gennem et andet punkt *b* og træk i tråden i samme retning; skiven drejer sig om *b*. Ved kraftens angrebepunkt forstår vi et punkt med den egenskab, at legemet ligger stille, hvis punktet gøres fast.

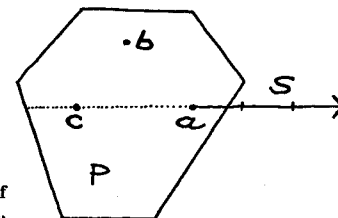


Fig. 66. Pappladen *P* påvirkes af snoren *S*, der er fastgjort i *a*.

Stikker vi knappenålen gennem andre punkter af papskiven og trækker i tråden, drejer papskiven sig, med mindre punktet ligger i snorens forlængelse (den punkterede linie). Vi kan altså vælge a til angrebepunkt, men vi kan lige så godt vælge ethvert andet punkt i snorens forlængelse.

Trækker vi i snoren med en kraft på 30 g, bliver pappladen også påvirket af en kraft på 30 g. Man plejer på en tegning at fremstille en kraft som en pil, der udgår fra angrebepunktet og har kraftens retning, det vil sige den retning, hvori kraften virker. Pilens længde afhænger af kraftens størrelse: er den 10 g, kan vi f. eks. afsætte 10 cm, er den 30 g, kan vi afsætte 30 cm. På tegningen er pilen afsat fra a . Vi kunne lige så godt have afsat den fra punktet c eller ethvert andet punkt i den punkterede linie.

Til venstre i fig. 67 ses to gummisugeskiver A og B , som er hængt op et par tilfældige steder på tavlen. På sugeskivernes kroge er der hængt fjedervægte, og til disse er der fasthæftet snore. Til den tredje snor er der bundet et 100 g-lod. Den knude, hvor snoren er bundet sammen,

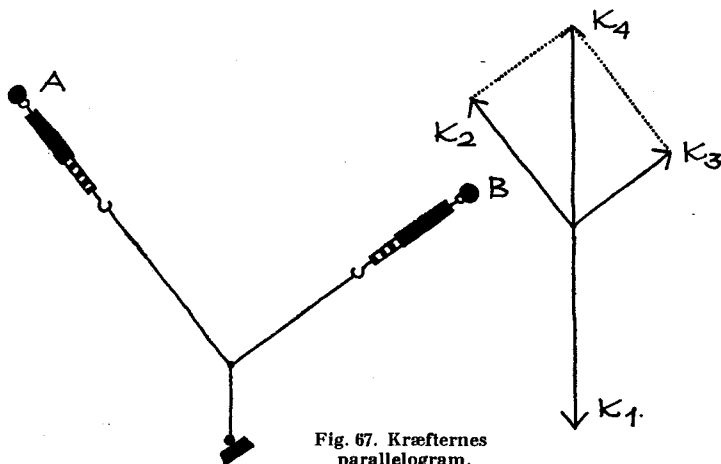


Fig. 67. Kræfternes parallelogram.

er altså påvirket af tre kræfter. Vi kan på tavlen tegne deres retninger, det er nemlig snorenes retninger. Den nedadgående kraft havde jo størrelsen 100 g, og lad os antage, at kræfterne, aflæst på fjedervægtene, var 80 g og 60 g. Så afsætter vi kræfterne K_1 , K_2 og K_3 til 100 cm, 80 cm og 60 cm. (Fylder de for meget, kan vi bruge de halve længder, 50 cm, 40 cm og 30 cm i stedet for).

Da knuden er i ro, bliver K_2 og K_3 ophævet af K_1 . Det vil sige, at K_2 og K_3 tilsammen virker som kraften K_4 , der er lige så stor som K_1 og modsat rettet. Prøver man efter, finder man, at K_4 er diagonal i det parallelogram, hvis sammenstødende sider er K_2 og K_3 .

Et legeme (fig. 68) er påvirket af kræfterne K_1 og K_2 . Vi tegner parallelogrammet, hvor R er diagonal. Forsøg har nu vist, at kraften R vil få legemet til at bevæge sig på samme måde, som hvis det i stedet var påvirket af kræfterne K_1 og K_2 . Parallelogrammet kaldes *kræfternes parallelogram*, og R kaldes *resultanten*. At finde resultanten kaldes at *sammensætte kræfterne*.

Hvorledes går det med resultantens størrelse, når vinklen mellem kræfterne K_1 og K_2 bliver mindre?

Går to kræfter i samme retning, er resultanten lig deres sum; går de i modsat retning, er den lig deres differens.

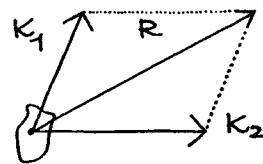


Fig. 68. R er resultanten af K_1 og K_2 .

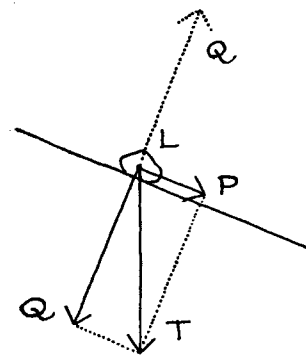


Fig. 69. Et legeme på et skråplan.

Hvis legemet oprindelig er påvirket af een kraft R , må denne omvendt kunne erstattes med kræfterne K_1 og K_2 . I så fald siger vi, at vi har *opløst* en kraft i to andre kræfter.

Eksempel. Et legeme L ligger på en skråt stillet flade (fig. 69). L er påvirket af tyngdekraften T . Vi opløser T i to kræfter P og Q , således at P er parallel med fladen, Q vinkelret på den. L laver en fordybning i pladen; denne vil forsøge at rette sig ud og påvirker derfor L med en kraft skråt opad af størrelsen Q . De to kræfter Q , som L er påvirket af, ophæver hinanden. (Hvis fladen er skrøbelig, vil Q dog måske knuse den). P søger at bringe legemet til at glide ned ad fladen; hvis gnidningsmodstanden er stor nok, bliver legemet liggende.

Skal man have en tung ting op på en vogn, tager man bagsmækken af vognen og lægger et bræt med den ene ende på jorden, den anden på vognbunden. Nu forestiller den skrå linie brættet, L den genstand, der skal slæbes op på vognen. Hvis brættet er glat, skal vi kun anvende en kraft, der er lidt større end P , for at få genstanden slæbt op. Da P er mindre end T , er det lettere at slæbe genstanden op på brættet end at løfte den op i vognen. En skråt stillet, plan flade kaldes et *skråplan*.

Kører en vogn hen ad en vandret vej, skal hestene kun overvinde gnidningsmodstanden. Kører vognen op ad bakke, skal hestene tillige overvinde den modstand, som frembringes af kraften P . (Nu er L vognen, den skrå linie bakken).

Tyngdepunkt

Bor huller (A , B , C og D) i en papskive og hæng den op på tavlen ved at stikke en stift gennem et af hullerne, A . Til stiftens fastgørelse vi en lodsnor og tegner på papskiven den lodrette linie gennem A ved at føre en blyant langs lodsnoren. Hæng efterhånden skiven op i punkterne B , C og D og tegn på samme måde som før de lodrette

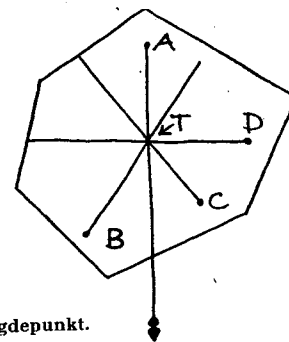


Fig. 70. T er papskivens tyngdepunkt.

linier gennem disse punkter. Vi ser, at alle disse punkter skærer hverandre i samme punkt T . Vi borer nu et hul gennem papskiven ved T og stikker stiftens gennem hullet; skiven er nu i ro, hvilken stilling vi end giver den. *I ethvert legeme er der et punkt med den egenskab, at legemet er i ro i hvilken som helst stilling, når punktet understøttes; dette punkt kaldes tyngdepunktet.*

Gentag, hvad vi forstår ved en krafts angrebepunkt; vi ser, at *tyngdepunktet kan vælges til angrebepunkt for tyngdekraften i enhver stilling af legemet*. En lodret linie gennem tyngdepunktet kaldes *faldlinien*, fordi tyngdepunktet bevæger sig ad denne linie, når legemet falder. Sætter vi stiftens gennem et af papskivens huller, har vi set, at skiven er i ro, når tyngdepunktet ligger lodret under ophængningspunktet. Vi siger, at skiven er i *stadig ligevægt*, fordi den stadig vender tilbage til samme stilling, hvis vi støder til den. Vi kan også få skiven til at stå stille, når tyngdepunktet er lodret over ophængningspunktet; vi siger nu, at den er i *ustadig ligevægt*, fordi den ikke vender tilbage til samme stilling, når vi støder til den. Vi lægger mærke til, at når skiven er i stadig ligevægt, vil tyngdepunktet blive løftet ved en lille drejning af skiven; men ved en lille drejning af skiven fra ustadig ligevægt sænkes tyngdepunktet. *Når et legeme, der kan dreje sig om en akse, er i ro, findes tyngdepunktet i en lodret linie gennem omdrejningsaksen.*

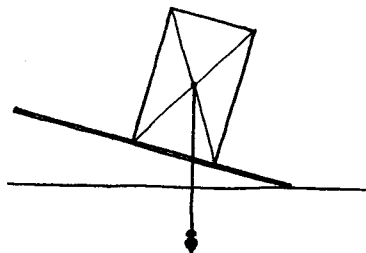


Fig. 71. Kassen vælter, når lodsnoren kommer uden for understøtningsfladen.

Vi gør en nøgle fast et sted på papskiven og finder som før tyngdepunktet for legemet (papskive og nøgle); *vi ser, at tyngdepunktet har flyttet sig hen mod nøglen*. Vi kan nu forstå, at tyngdepunktet for en belæst vogn ligger højere end for den tomme vogn, og at tyngdepunktet for en lampe, der har en svær fod, ligger lavt.

Tyngdepunktet for en cigarkasse ligger midt inde i kassen; vi kan se det ved at hænge kassen op i forskellige punkter. På en af kassens sideflader tegner vi de to diagonaler og slår en stift ind i kassen i diagonalernes skæringspunkt. Vi stiller kassen på et bræt og fastgør en lodsnor til stift. Tyngdepunktet ligger inde i kassen lige ud for stift; lodsnoren er parallel med faldlinjen.

Vi drejer nu brættet og lægger mærke til lodsnorens stilling, når kassen vælter. (For at forhindre kassen i at glide, kan vi sætte en tegnestift fast i brættet lige neden for kassen). Vi ser, at et *legeme vælter, når faldlinjen falder uden for den flade, som legemet hviler på*. Denne flade kaldes *understøtningsfladen*; en vogns understøtningsflade er den firkant, hvis vinkelspidser er de fire punkter, hvor hjulene berører vejen. Hvorledes kan vi bestemme en stols understøtningsflade?

Hvorfor vælter en vogn lettest, når den er smalsporet og har højt læs?

En mand, der bærer en tung byrde på ryggen, hælder sig forover og flytter derved sit og byrdens fælles tyngdepunkt; hvorfor gør han det? Bærer han en tung genstand

i højre hånd, hælder han sig til venstre, hvorfor? Hvorfor er det lettere at stå på to ben end på et? Hvis man stiller sig op ad en væg, således at højre skulder og højre fod berører væggen, kan man ikke løfte venstre ben uden at vælte. Hvorfor?

Eksempler på krumlinet bevægelse

Vi ved, at et legeme, der bevæger sig i en krum bane, må være påvirket af en kraft, som krummer banen; *jo større hastighed legemet har, og jo mere krum banen er, jo større skal kraften være*. Slinger vi en sten rundt i en snor, har vi set, at det er snorens spænding, der krummer banen. Går snoren itu, farer stenen bort efter tangenten til cirklen i det punkt, hvor stenen i øjeblikket befinder sig; *den kraft, som holder stenen i cirklen, forsvinder nemlig, når snoren går itu*.

Når en sporvogn kører i en krumning, trykker hjulene udad på skinnerne; skinnernes modtryk holder sporvognen i dens bane. Jorden tiltrækker månen, som den tiltrækker ethvert andet legeme. Det er denne tiltrækning, der holder månen i dens bane omkring jorden.

Pendulet. Et pendul er et legeme, der er ophængt således, at det kan svinge frem og tilbage. Vi hænger et lod op i en 1 m lang tråd eller bedre, som i fig. 72, i to tråde.

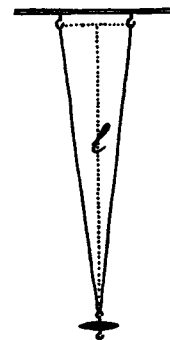


Fig. 72. Pendulet.

Længden l måles, og svingningstiden (den tid pendulet er om at udføre en svingning) findes ved at se, hvor mange sekunder pendulet er om at udføre 50 svingninger. På samme måde bestemmes svingningstiden for et pendul, der er 50 cm langt. Vi ser, at lange penduler har længere svingningstid end korte.

Vi bestemmer svingningstiden to gange for et pendul, der er 1 m langt; første gang fjernes loddet kun nogle få cm fra hvilestillingen, anden gang tre gange så langt. Svingningstiderne bliver ens.

Vi erstatter loddet med et tungere lod og bestemmer svingningstiden for samme pendullængde. Svingningstiden bliver den samme som før.

Et penduls svingningstid afhænger kun af dets længde.

I stueure består pendulet tit af en træstang, som for neden bærer en messingskive, der kan hæves og sænkes ved hjælp af en skrue. Går uret for langsomt, gør vi pendulet kortere ved at hæve messingskiven.

Vægtstangsreglen

Tegningen fig. 73 forestiller en skive, der kan dreje sig om en akse A vinkelret på skiven og er påvirket af en kraft P . En linie a fra A vinkelret på kraftens retning kaldes *kraftens arm*. Produktet af kraften og dens arm kaldes *kraftens moment*.

En stang (fig. 74) er anbragt således, at den kan dreje sig om en akse a . Dens tyngdepunkt ligger lodret under akse; den er altså i ro i vandret stilling. Med lige store

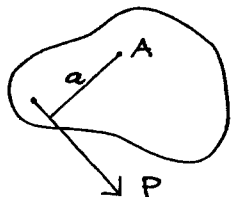


Fig. 73. Kraftens moment.

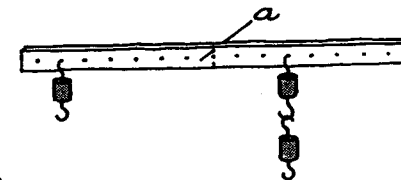


Fig. 74. Vægtstangsreglen.

mellemrum er der anbragt en række huller; det første er f. eks 2 cm fra akse, det næste 4 cm o. s. v.

Vi kan frembringe træk nedad i hullerne ved at hænge lodder i dem. Vi hænger et lod, der f. eks. vejer 100 g, i hul 6 (til venstre) og prøver, hvor meget vi må hænge i hul 3 (til højre), for at stangen kan forblive i ro; vi må hænge 200 g på. Trækket til venstre er 100 g, dets arm 12 cm; det har momentet 100×12 . Trækket til højre har momentet 200×6 ; de to momenter er lige store. Prøver vi os frem med forskellige vægte på forskellige kroge, ser vi, at stangen kun er i ro i vandret stilling, når momenterne er lige store.

Der gælder altid følgende regel: Når et legeme, der kan dreje sig om en akse, er påvirket af en kraft, kan denne ophæves af en anden kraft, der drejer modsat vej, hvis de to kræfter har samme moment. En lille kraft med en lang arm kan altså opveje en stor kraft med en kort arm. Et legeme, der kan dreje sig om en akse, som ikke går gennem tyngdepunktet, kaldes tit en vægtstang, selv om det ikke har form af en stang. Reglen kaldes derfor *vægtstangsreglen*.

Eksempler på vægtstangsreglens anvendelse. En mand vil vælte en sten med en løftestang (fig. 75). Stangens omdrejningsakse ligger ved a . Manden trykker på enden af stangen med en kraft P , der er vinkelret på stangen, og frembringer derved en kraft T_1 på stenen. Stenens modkraft på stangen (T_2) er lig T_1 ; for nemheds skyld antager vi, at T_2 er vinkelret på stangen. Er nu $ac = 2$ dm,

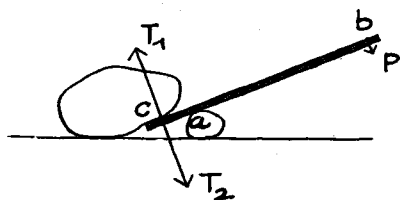


Fig. 75.

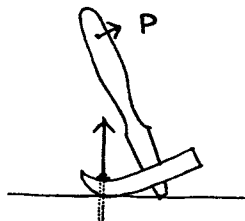


Fig. 76.

Fig. 75. Løftestangen. Fig. 76. Et søm skal fjernes.

$ab = 10$ dm og $P = 20$ kg, har vi: $T_2 \times 2 = 20 \times 10$, hvoraf $T_2 = 100$. Ved at anvende en kraft på 20 kg har manden frembragt en kraft på 100 kg.

Af 2 drenge vejer den ene 30 kg, den anden 50 kg. Den dreng, der vejer mindst, sidder på den ene ende af et vandret vippebræt, som er 4 m langt. Hvor omtrent skal den anden dreng sidde, for at den ene ikke skal tynde den anden ned?

Vi kan trække et søm ud af et bræt med en hammer. Tegningen (fig. 76) viser, hvordan vi skal holde hammeren; P er den kraft, hvormed vi trykker på hammerskafet. Vi betragter hammeren som en vægtstang; hvor er omdrejningsaksen, kræfterne og deres arme? Hvorfor er sømmet lettest at få ud, når hammeren har langt skaft?

Anvend vægtstangsreglen på knibtangen, saksen og nøddeknækkeren.

På den almindelige skålvægt er der en vandret vægtstang, der kan dreje sig om en akse. Tager vi skålene af og støder til stangen, ser vi, at den kommer i ro i sin oprindelige stilling. Tyngdepunktet ligger altså under akse, så at stangen er ophængt på samme måde som ved forsøget fig. 74. Skålene er ophængt i to punkter, der har samme afstand fra akse. Da armene er lige lange, kan vægtstangen kun stå vandret, når den ene skål og det,

der ligger på den, vejer lige så meget som den anden skål og det, der ligger på den. Da skålene er lige tunge, må de ting, der ligger på skålene, veje lige meget.

Vi kan prøve, om armene er lige lange, ved at lægge lige tunge lodder på skålene; vægtstangen skal da stå vandret. Er vægten falsk (d. v. s. den ene arm længere eller tungere end den anden), kan vi alligevel veje rigtigt med den. Vi lægger den ting, der skal vejes, på den ene skål og hagl på den anden, indtil vægtstangen står vandret. Tager vi nu tingen bort og erstatter den med lodder, indtil stangen igen står vandret, må tingen og lodderne veje lige meget.

Arbejde

Når vi løfter en byrde, må vi overvinde den modstand, der skyldes jordens træk i byrden (tyngdekraften); vi udfører et arbejde. Jo mere byrden vejer, og jo højere den løftes, des større er arbejdet. Til at udføre dette arbejde kræves der en kraft.

Løfter vi et kilogramlod med uforandret fart en meter i vejret, siger vi, at vi har udført et arbejde på en kilogrammeter (1 kgm); løftes et 2 kg-lod 3 meter i vejret, siges arbejdet at være 6 kgm. Arbejdet måles ved produktet af kraften og den vej, som angrebepunktet har flyttet sig i kraftens retning.

Cykler vi henad en vandret vej, virker tyngdekraften ikke som en modstand. Derimod er der gnidningsmodstand dels i cyklens lejer og dels der, hvor hjulene rører vejen. Desuden er der luftmodstand, og derfor er man nødt til at træde i pedalerne. Hvis vi forøger farten, må vi træde ekstra stærkt. Bevæger et legeme sig med voksende hastighed, må der udføres et større arbejde, end når bevægelsen er jævn.

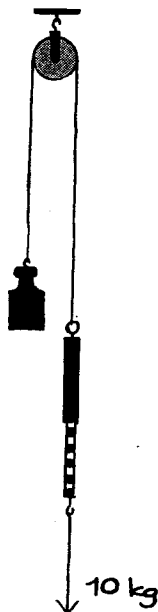


Fig. 77.

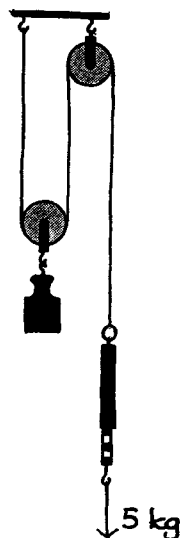


Fig. 78.

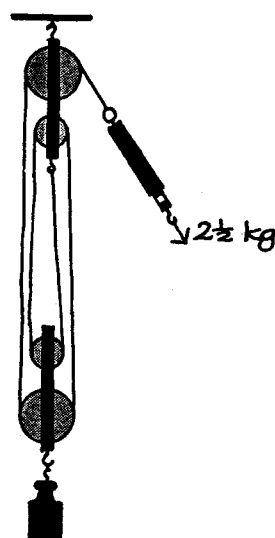


Fig. 79.

Fig. 77. Fast trisse. Fig. 78. Løs trisse. Fig. 79. Taljen.

Maskiner

En *trisse* er en rund skive med en fure i kanten; den kan dreje sig om en akse, der hviler i en gaffel. Er gafflen fastgjort f. eks. til en bjælke, kaldes trissen en *fast trisse*. De forsøg, som nu skal omtales, foregår med trisser og taljer, som måske er kraftigere end dem, som skolen er i besiddelse af.

Vi lægger en snor over trissen (fig. 77) og anbringer et lod på 10 kg i snorens ene ende. Til den anden ende fastgøres en fjedervægt, som vi trækker ned i med så stor en kraft, at loddet bliver i ro. Det viser sig, at fjedervægtens udslag er på 10 kg. Løfter vi loddet med en konstant fart ved at trække ned i fjedervægten, er fjedervægtens udslag også 10 kg. (Trissen skal være letløbende).

Den faste trisse anvendes, når en byrde skal hæves. Er byrdens vægt 10 kg, må vi som lige nævnt trække i snoren med en kraft på 10 kg. Skal byrden hæves 4 meter, må vi trække snoren 4 meter ned, og herved udfører vi et arbejde på $10 \times 4 = 40$ kgm.

Kunne vi med hænderne have løftet byrden de 4 meter i vejret, måtte vi også have udført et arbejde på 40 kgm. Når man løfter en byrde ved hjælp af en fast trisse, må man anvende samme kraft og udføre samme arbejde, som hvis man løfter byrden med hænderne. Fordelen ved at anvende en fast trisse ligger i, at man kan blive stående på samme sted, mens man udfører arbejdet, og man kan anvende et nedadgående træk, som er lettere at frembringe end et opadgående.

En fast trisse kan anvendes i forbindelse med en *løs trisse*. 10-kilogramloddet hænges i den løse trisses gaffel, og snoren er anbragt således som i fig. 78. Nu viser det sig, at vi kun skal trække ned i fjedervægten med en kraft på 5 kg. (Der ses bort fra vægten af den løse trisse). Bevæger vi fjedervægten ned med en konstant hastighed, viser vægten stadig 5 kg.

Skal byrden, 10-kiloloddet, løftes 4 m i vejret, må vi trække den højre snor 8 m ned. (Hver af snorene, som den løse trisse hænger i, bliver nemlig 4 meter kortere). Vi må herved udføre et arbejde på $5 \times 8 = 40$ kgm. Kunne vi i stedet med hænderne have løftet 10-kiloloddet de 4 meter i vejret, måtte vi have udført arbejdet $10 \times 4 = 40$ kgm. Når man løfter en byrde ved hjælp af en løs trisse, skal man kun anvende halv så stor en kraft, men udføre samme arbejde, som hvis man løfter den med hænderne.

Taljen består af to gaffler; i hver gaffel er der to eller tre trisser. På fig. 79 er der to trisser i hver gaffel. Den øverste gaffel er gjort fast i en bjælke; byrden, f. eks. 10-kiloloddet, hænger i en krog i den nederste gaffel. Snoren er viklet om trisserne, således som tegningen vi-

ser; snorens ene ende er bundet i en krog i den øverste gaffel. Prøver vi efter med en fjedervægt, hvor meget vi skal trække i den frie snor-ende for at forhindre loddet i at rutsche ned, finder vi $2\frac{1}{2}$ kilo. (Vi ser bort fra vægten af den nederste gaffel). At det må være sådan, er let at indse: Den nederste gaffel med 10-kiloloddet hænger i 4 snore; trækket i en enkelt snor må da være $10 \text{ kg} : 4 = 2\frac{1}{2} \text{ kg}$. Med fjedervægten måler vi netop trækket i en enkelt snor. Bevæger vi fjedervægten med en konstant fart, står viseren stadig på $2\frac{1}{2}$ kilo.

Skal byrden løftes 4 meter, bliver hvert af de fire snorstykker 4 meter kortere. Vi må altså trække den frie snor-ende 16 meter ned. Arbejdet, som herved udføres, er $2\frac{1}{2} \times 16 = 40 \text{ kgm}$. Skal de 10 kilo med hænderne løftes de 4 meter, udføres også arbejdet 40 kgm; de to arbejder er lige store. Når man hæver en byrde ved hjælp af en talje, som har to trisser i hver gaffel, skal man anvende en kraft, der er $\frac{1}{4}$ af byrdens vægt. Derimod må man udføre det samme arbejde, som hvis man løfter byrden med hænderne.

Den faste trisse, den løse trisse og taljen kaldes maskiner. Af andre maskiner har vi tidligere omtalt skråplanet. Hvad var fordelene ved at bruge et skråplan?

Ved hjælp af maskiner kan vi løfte en byrde med en kraft, der er mindre end byrdens vægt; men vi må altid udføre samme arbejde, som hvis vi løftede byrden med hænderne.

Energi

Når et legeme kan udføre et arbejde, siger man, at det indeholder energi. Den mængde energi, det indeholder, er lig med det arbejde, det kan udføre.

Beliggenhedsenergi. Hvis loddet A i fig. 80 vejer 8 kg og er løftet 4 m over jorden, kan det, når vi ser bort fra

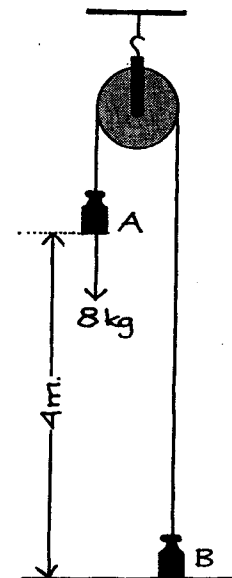


Fig. 80. Beliggenhedsenergi.

gnidningsmodstanden, ved at bevæge sig nedad med konstant hastighed løfte B, som også vejer 8 kg, 4 m til vejrs. Derved har det udført et arbejde på 32 kgm. Man siger, at det har en energi på 32 kgm, når det befinder sig i den øverste stilling. Man kalder denne energi for beliggenhedsenergi.

Når loddet A har bevæget sig ned, har det mistet sin bevægelsesenergi, men denne energi er nu overført til B, som er løftet 4 m op. Energien kan altså flyttes fra et legeme til et andet. Beliggenhedsenergien måles ved produktet af legemets vægt og det stykke, legemet er løftet over jorden.

Bevægelsesenergi. Rindende vand (en å, et vandfald) kan drive vandmøller eller turbiner; en granat kan genembryde en mur; blæsten kan drive en vindmølle eller vindmotor. I disse eksempler er vandet, granaten og luf-

ten i bevægelse og derfor i stand til at udføre et arbejde; man siger, at de har *bevægelsesenergi*.

Varmeenergi. Opvarmer vi luften i en flaske, der er lukket med en prop, kan den varme lufts tryk overvinde gnidningsmodstanden mellem prop og flaskehals, så at proppen springer af, og derved udføre et arbejde. Når et lokomotiv trækker et tog, er det den varme damp i dampmaskinens cylindre, der udfører arbejdet. Varmen er altså en form for energi; den kaldes *varmeenergi*.

Elektrisk energi. Når en sporvogn kører hen ad skinnerne, er det den elektriske strøm, som drejer elektromotoren og derved udfører et arbejde. Man siger, at strømmen har *elektrisk energi*.

En energiform kan omdannes til en anden eller flere andre. En sten, der er hævet op over jorden, har beliggenhedsenergi. Når stenen falder, forsvinder beliggenhedsenergien, men i stedet får den mere og mere bevægelsesenergi, indtil den standses af jorden; bevægelsesenergien er nu forsvundet, men samtidig er stenen og jorden blevet lidt varmere; bevægelsesenergien er omdannet til varmeenergi. I glødelampen og strygejernet omdannes elektrisk energi til varmeenergi. I elektromotoren omdannes den elektriske energi til bevægelsesenergi.

ALFABETISK REGISTER

Addition af farver.....	30	Halvskygge	16
Akceleration	53	Hastighed.....	8, 18, 53
Akkomodation	44	Hornhinde	42
Aktion	56	Hulspejl	21
Akustik	10		
Angrebspunkt	61	Indbildt billede	19
Arbejde	71	Indfaldslod	20, 23
Astronomisk kikkert.....	46	Indfaldsvinkel	20, 23
		Inertiens lov	56
Briller	44	Infrarøde stråler	36
Brydningsvinkel.....	23	Iris	43
Brændpunkt	37		
Brændvidde	37	Katodestråler	50
		Kerneskygge	16
Diffus spejling	21	Klaver	12
		Knudelinie	12
Egensvingningstid	13	Knudepunkt	11
Ekko	9	Komplementærfarver.....	30
Elektroner	51	Kraft	54, 60
Energi	74	Kræfternes parallelogram..	63
		Kuglekalot	21
Faldlinie	65		
Faldmaskine	59	Langsynet øje.....	45
Fart	53	Ligevægt.....	65
Farver	29	Linser	37
Fluorescens	36	Luftspejling	26
Fortynding	6	Lup	45
Fortætning	6	Lydsvingninger	5
Fotografiapparat	41	Lysbilledapparat	41
Frekvens.....	7	Lyse varmestraler.....	34
Fuldstændig tilbagekastning	25	Løftestang	69
Geisslers rør.....	50	Maskiner	72
Genlyd.....	9	Metronom	58

Mikroskop	49	Spektrum	28
Moment	68	Spredelinse	40
Mørke varmemstråler	32	Stave	42
Måneformørkelse	17	Stemmebånd	15
		Stemmegaffel	11
Nethinde	42	Stemmen	15
Newtons forsøg	27	Strenginstrument	12
Nærpunkt	44	Strålevarme	32
Nærsynet øje	45	Subtraktion af farver	31
		Svingningstal	7
Objektiv	47, 49	Synsnerve	42
Okular	47, 49		
Optiske blegemidler	36	Talje	73
Orgelpibe	15	Tappe	42
		Teaterkikkert	48
Pendul	67	Trisse	72
Prisme	24	Tyngdepunkt	64
Prismekikkert	48		
Pupil	43	Udfaldsvinkel	20
		Ultralyd	10
Reaktion	56	Ultraviolette stråler	36
Regnbuehinde	43	Understøtningsfladen	66
Resonans	13		
Resultant	63	Varmestråler	32
Røntgenstråler	50	Violin	12
		Virkeligt billede	39
Samlelinse	37	Vægtstangsreglen	68
Sangbund	12		
Senehinde	42	Øjelinse	43
Skråplan	58, 64	Øjet	42
Skålvægt	70		
Snorspænding	61	Årehinde	42
Solførørkelse	17		

INDHOLDSFORTEGNELSE

<i>Forord</i>	3
<i>Lydlære</i>	5
Lydsvingninger	5
Lydens hastighed	8
Lydens tilbagekastning	9
Stemmegafflen	11
Strenginstrumenter	12
Resonans	13
Orgelpiben	15
<i>Lyslære</i>	16
Lys og skygge	16
Lysets tilbagekastning	18
Lysets brydning	22
Newtons forsøg	27
Farver	29
Infrarøde og ultraviolette stråler	32
Linser	37
Fotografiapparat og lysbilledapparat	41
Øjet og briller	42
Lupen	45
Kikkerter	46
Mikroskop	49
Katodestråler og røntgenstråler	50

<i>Mekanisk fysik II</i>	53
Bevægelse	53
Legemers fald gennem luften	57
Kræfters sammensætning og opløsning	60
Tyngdepunkt	64
Eksempler på krumlinet bevægelse	67
Vægtstangsreglen	68
Arbejde	71
Maskiner	72
Energi	74
<i>Alfabetisk register</i>	77