

Optik

Galileoskopet

Astronomi C Vibenshus Gymnasium

Introduktion

Dette forløb tager udgangspunkt i skolens *galileoskoper* fra teleskopbyggeaftenen på planetariet. Det endelige mål er at kunne analysere og forklare opbygningen og virkemåden af galileoskoperne i de tre mulige konfigurationer.

For i sidste ende at kunne dette skal vi arbejde med følgende begreber:

- Linser og billeddannelse for *tynde* linser
- Linseformlen
- Forstørrelse
- Linsestyrke
- Effektive brændvidder
- Eksperimentel bestemmelse af brændvidder
- Linsemagerens formel
- Sammensatte linser
- Barlowlinsen
- Plössllinsen
- Galileoteleskopet
- Keplerteleskopet
- Lysintensitet
- Lyssamlingsevne for et teleskop
- Opløsningsevne
- Fra opløsningsevne til detaljestørrelse

Til sidst i kompendiet er der en række regneopgaver samt nogle eksperimentelle opgaver, som kulminerer i en analyse af selve Galileoskopet.

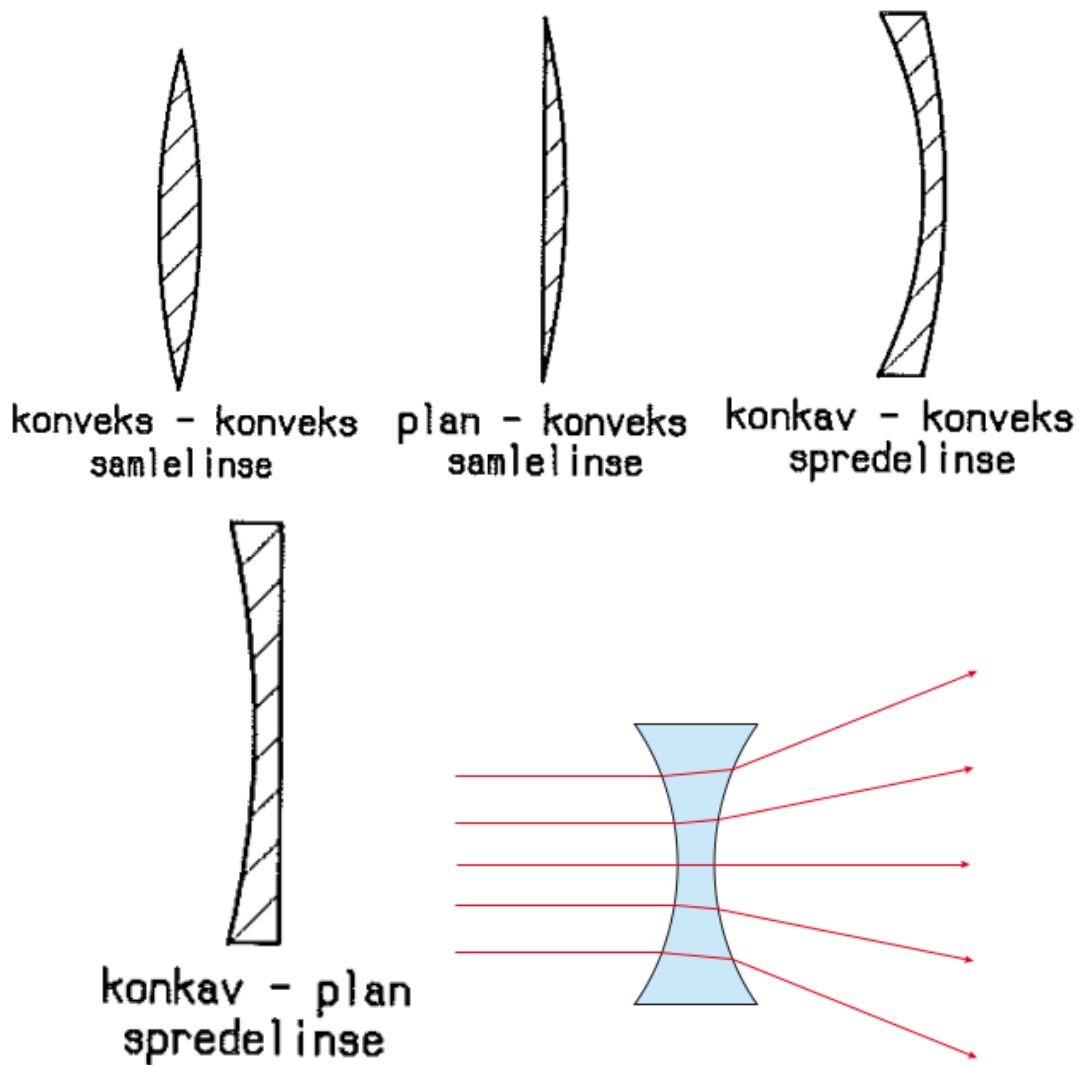
Indhold

Introduktion	1
Linsetyper for <i>tynde</i> linser	4
Konstruktionsregler for tynde samlelinser	5
Billeddannelse for en samlelinse	6
Omvendt, virkeligt og forstørret billede	6
Omvendt, virkeligt og formindsket billede	6
Omvendt, virkeligt og uforstørret billede	7
Opret, indbildt og forstørret billede	7
Hvordan en lup virker	8
Linseformlen	9
Forstørrelse	9
Linsestyrke	10
Effektive brændvidder	10
Eksperimentel bestemmelse af brændvidder	11
Linsemagerens formel	12
Sammensatte linser	13
Barlowlinsen	14
Plössllinsen	15
Galileoteleskopet	15
Keplerteleskopet	16
Lysintensitet	18
Lyssamlingsevne for et teleskop	18
Opløsningsevne	19
Fra opløsningsevne til detaljestørrelse	19
Regneopgaver	21
Opgave 1	21
Opgave 2	21

Opgave 3	21
Opgave 4	21
Opgave 5	22
Opgave 6	22
Opgave 7	22
Opgave 8	23
Facitliste	23
Eksperimentelle opgaver	25
Eksperimentel bestemmelse af brændvidden for Galileoskopets linser	25
Materialeliste	25
Fremgangsmåde og spørgsmål	25
Konstruktion af et refraktivt teleskop	26
materialeliste	26
Fremgangsmåde og spørgsmål	26
Undersøgelse af opløsningsevne for Galileoskopets tre opsætninger	27
Materialeliste	27
Fremgangsmåde	27
Beskrivelse af Galileoskopets tre opsætninger	27

Linsetyper for *tynde* linser

Vi har følgende *definitioner* på linsetyper:

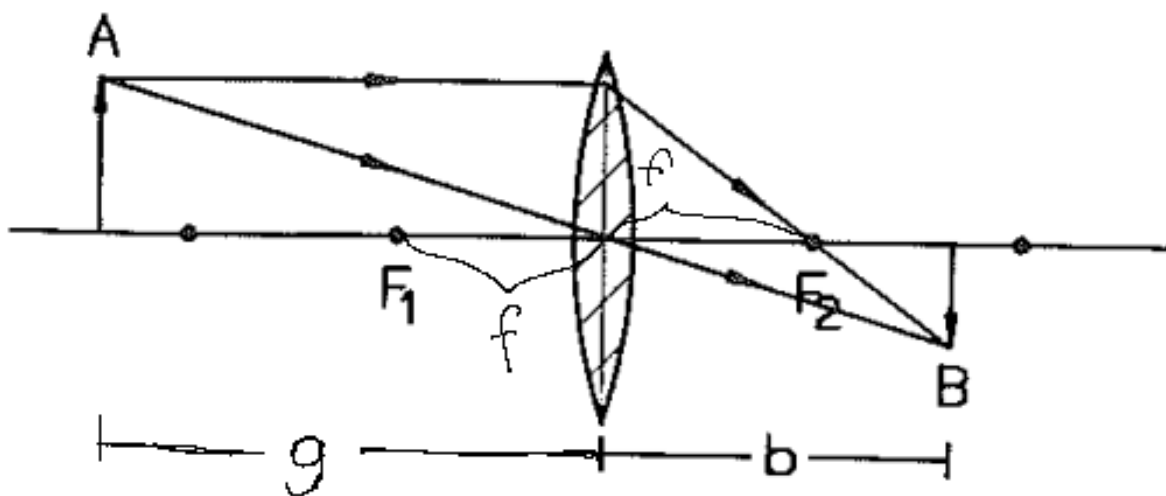


hvor den sidste linsetype kaldes konkav-konkav eller dobbeltkonkav, hvilket er en spredelinse.

Konstruktionsregler for tynde samlelinser

1. En lysstråle, som er parallel med den *optiske akse*, vil altid gå gennem brændpunktet efter at have passeret linsen.
2. En lysstråle, som passerer linsens midtpunkt, vil gå ubrudt igennem.

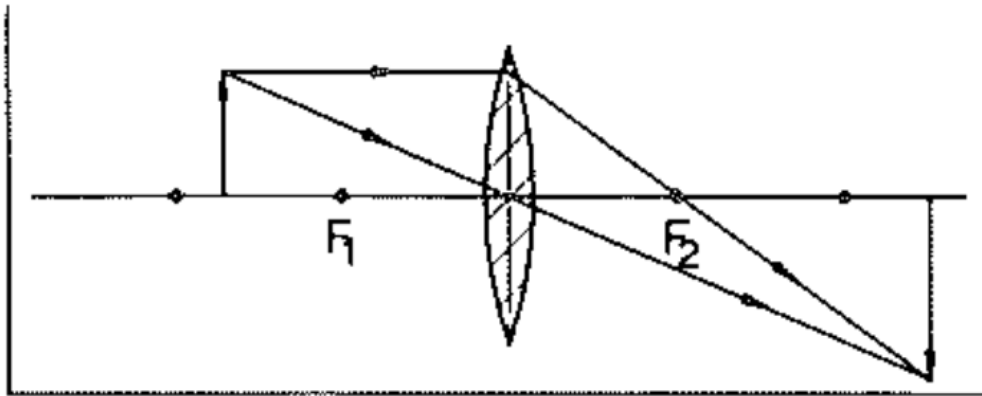
Disse regler kan ses på den følgende figur:



På forrige figur kaldes g for *genstandsafstanden*, b for *billedafstanden*, f for *brændvidden* eller *fokallængden* og F_1 og F_2 kaldes *brændpunkter* eller *fokuspunkter*.

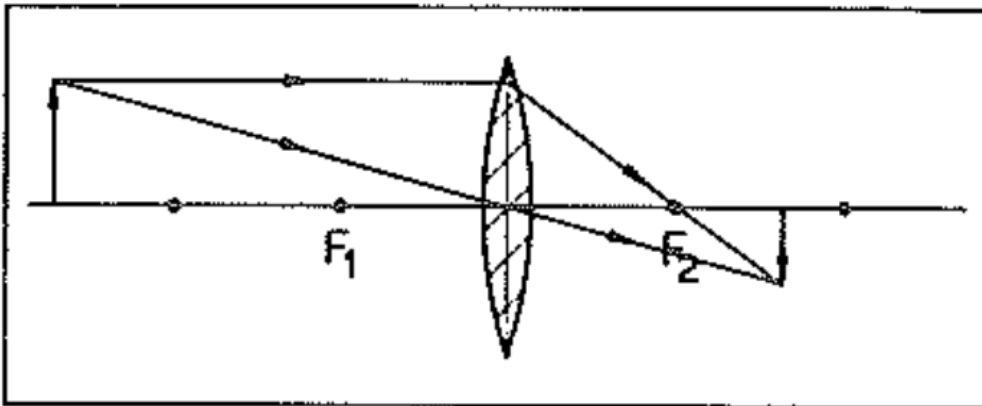
Billeddannelse for en samlelinse

Omvendt, virkeligt og forstørret billede



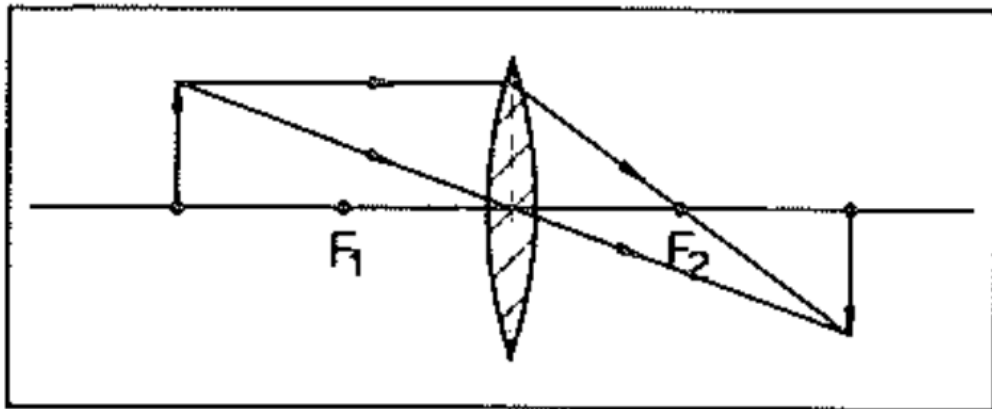
For at dette billede kan dannes, skal genstandsafstanden ligge mellem 1 og 2 fokallængder fra linsen og billedafstanden vil være større end 2 fokallængder. Hvis man sætter en skærm op i billedafstanden fra linsen, vil man se et klart billede af genstanden.

Omvendt, virkeligt og formindsket billede



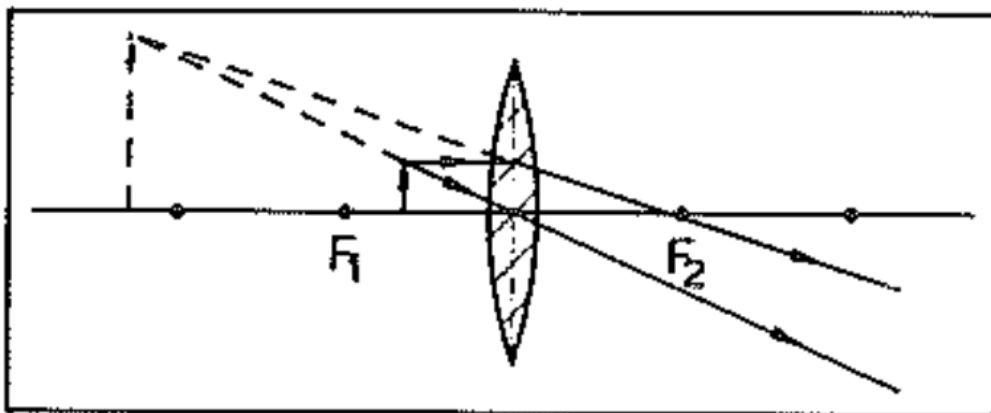
For at dette billede kan dannes, skal genstandsafstanden være over 2 fokallængder fra linsen og billedafstanden vil være mellem 1 end 2 fokallængder. Hvis man sætter en skærm op i billedafstanden fra linsen, vil man se et klart billede af genstanden.

Omvendt, virkeligt og uforstørret billede



For at dette billede kan dannes, skal genstandsafstanden være præcis 2 fokallængder fra linsen og billedafstanden vil derfor også være præcis 2 fokallængder. Hvis man sætter en skærm op i billedafstanden fra linsen, vil man se et klart billede af genstanden.

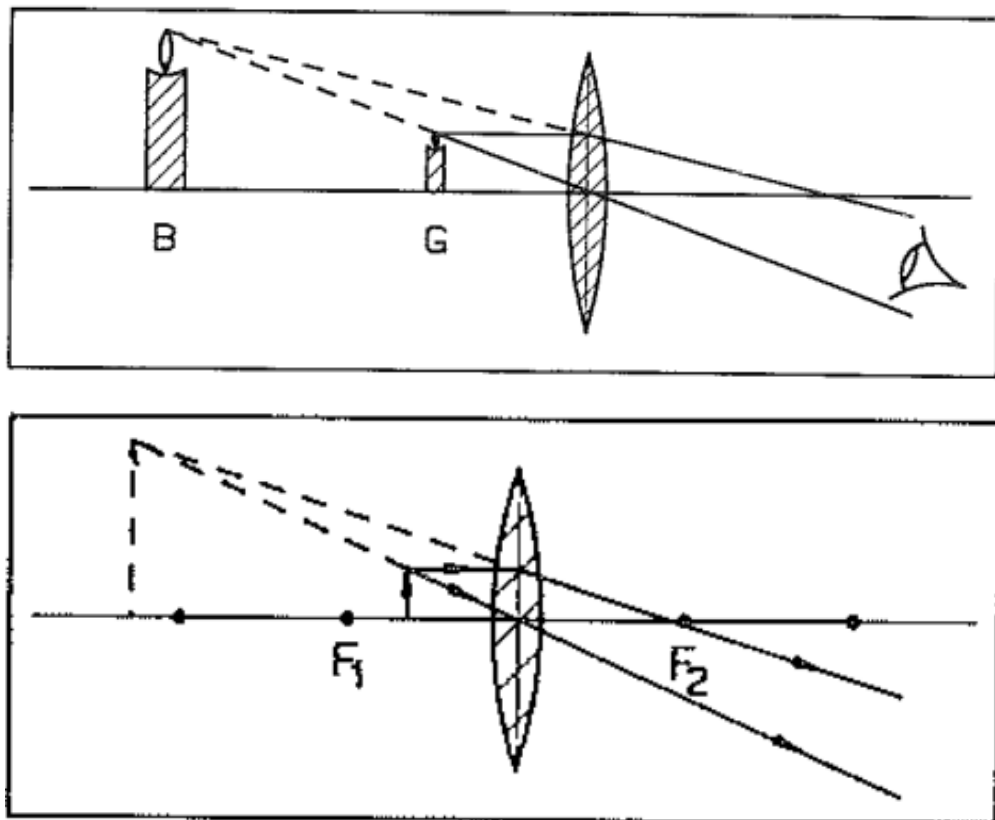
Opret, indbildt og forstørret billede



For at dette billede kan dannes, skal genstandsafstanden være under 1 fokallængde fra linsen. Billedafstanden vil være negativ (ligge på samme side af linsen som genstanden) og numerisk større end 2 fokallængder. Der vil *ikke* dannes et billede på en skærm i billedafstanden fra linsen. Netop derfor kaldes billedet *indbildt*.

Hvordan en lup virker

En lup er i bund og grund en samlelinse. Strålegangen for en lup kan ses på de to følgende figurer:



- Hvis genstanden er nærmere linsen end én brændvidde, dannes der et indbildt opret billede på samme side af linsen som genstanden. Det indbildte billede er forstørret i forhold til genstanden.
- Hvis genstanden er længere væk fra linsen end én brændvidde, dannes der et virkeligt og omvendt billede, som er formindsket.
- Brændvidden er den afstand mellem genstanden og luppen, hvor billedet “flipper” fra opret og indbildt til omvendt og virkeligt.

Linseformlen

For *tynde* linser gælder der en særlig sammenhæng mellem genstandsafstanden, billedafstanden og fokallængden. Denne sammenhæng kaldes *linseformlen* og ser således ud:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

Linseformlen virker for både samle-, og spredelinser, hvis man regner afstandene med fortegn. Når der regnes med fortegn gælder følgende regler:

- Hvis *genstand* og *billede* er *virkelige* er fortegnene på *g* og *b* *positive*
- Hvis *genstand* og *billede* er *indbildte (virtuelle)* er fortegnene på *g* og *b* *negative*
- Hvis linsen er en samlelinse er fortegnet på *f* *positivt*
- Hvis linsen er en spredelinse er fortegnet på *f* *negativt*

Forstørrelse

Forholdet mellem billedafstanden og genstandsafstanden kaldes for *forstørrelsen* og fortæller om billedet synes større eller mindre, end det er i virkeligheden. Forstørrelsen kan være både positiv og negativ. Hvis forstørrelsen er negativ betyder det, at billedet er indbildt og dermed *retvendt*.

$$\text{Forstørrelse} = \frac{b}{g}$$

Nogle lærebøger definerer forstørrelsen som

$$M = -\frac{b}{g}$$

hvilket i givet fald betyder, at forstørrelsen for virkelige omvendte billeder er negativ, og positiv for indbildte retvendte billeder.

For et teleskop kan forstørrelsen beregnes som forholdet mellem objektivets brændvidde og okularets brændvidde, altså

$$M_{\text{teleskop}} = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}}$$

Linsestyrke

En linses *styrke* er defineret som den *reciproke* værdi af brændvidden/fokallængden og benævnes D .

$$D \equiv \frac{1}{f}$$

Enheden for styrken er m^{-1} , men kaldes for en *Dioptri*.

Effektive brændvidder

Hvis to linser har en indbyrdes afstand, som er mindre end begge linsers brændvidde, kan man beregne den *effektive brændvidde* på følgende måde:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

hvor f_1 og f_2 er brændvidderne for henholdsvis linse 1 og linse 2.

Hvis man sætter N linser sammen bliver formelen til følgende:

$$\frac{1}{f} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \cdots + \frac{1}{f_{N-1}} + \frac{1}{f_N}$$

Eksperimentel bestemmelse af brændvidder

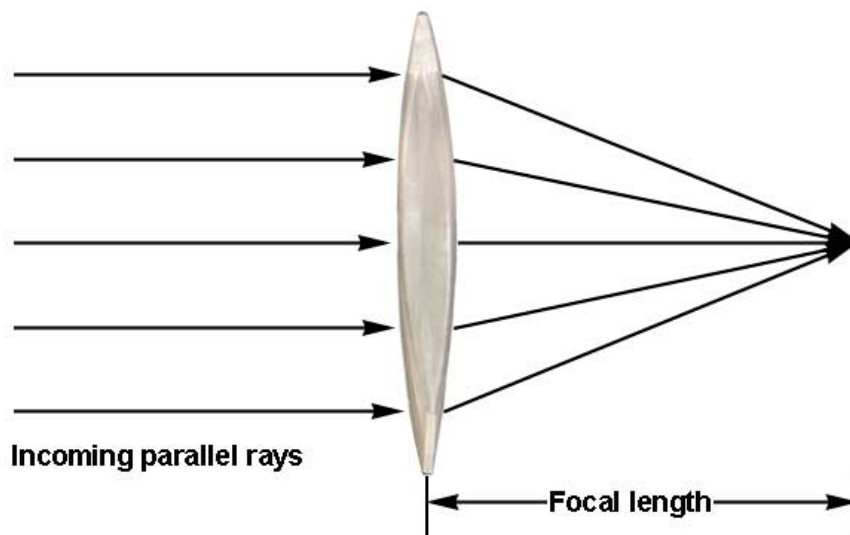
En samlelinses brændvidde kan bestemmes eksperimentelt på følgende simple måde:

- Observer en genstand som er *uendeligt* langt væk fra linsen. Dermed kan lysstrålerne fra objektet betragtes som parallelle med den optiske akse.
- Placer en skærm på den anden side af linsen, der hvor et lille og omvendt billede af objektet er skarpt.
- Afstanden mellem linsen og pladen er tilnærmelsesvis lig brændvidden.

Dette ses tydeligt ved at betragte linseformlen og lade genstandsafstanden nærme sig uendeligt:

$$\begin{aligned}\frac{1}{f} &= \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \\ \frac{1}{f} &= \lim_{g \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{g} \right) = \frac{1}{b} \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{b} \rightarrow \\ f &= b\end{aligned}$$

Den følgende figur viser metoden grafisk:



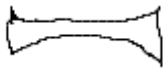
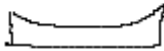




Linsemagerens formel

Denne formel gælder for tynde linser og kan bruges til at beregne brændvidden af en linse.

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

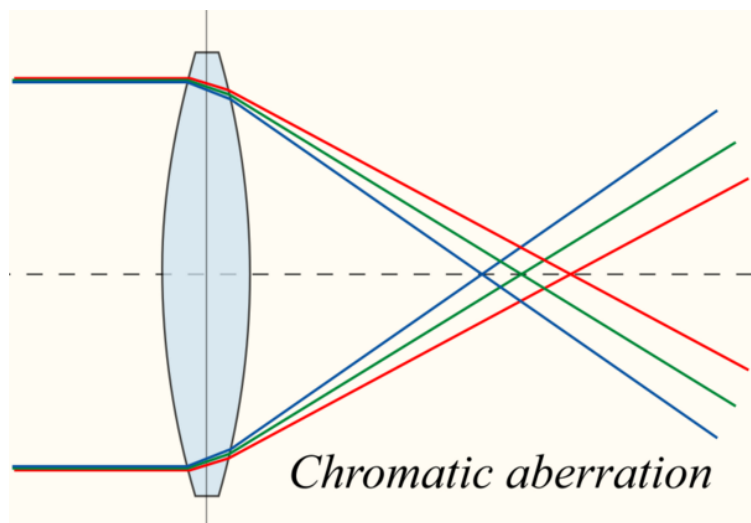
- n_l er brydningsindekset for linsen og det antages at linsen er omgivet af luft.
- R_1 er krumningsradius af den overflade, som lyset møder først (den venstre).
- R_2 er krumningsradius for den overflade, som lyset møder sidst (den højre).
- R_1 er positiv, hvis overfladen er konveks, da centrum for cirkeludsnittet er på højre side af linsen.
- R_1 er negativ, hvis overfladen er konkav, da centrum for cirkeludsnittet er på venstre side af linsen.
- R_2 er negativ, hvis overfladen er konveks, da centrum for cirkeludsnittet er på venstre side af linsen.
- R_2 er positiv, hvis overfladen er konkav, da centrum for cirkeludsnittet er på højre side af linsen.
- $R_1 = \infty$ $R_2 = \infty$ hvis henholdsvis den første og anden overflade er plan.

En tydelig oversigt kan ses på følgende figur:

<div>CONCAVE</div> <div>CONVEX</div>	<div> $R_1 < 0$ $R_2 > 0$ </div>  <div>Bi-concave</div>	<div> $R_1 = \infty$ $R_2 > 0$ </div>  <div>Planar concave</div>	<div> $R_1 > 0$ $R_2 > 0$ </div>  <div>Meniscus concave</div>
	<div> $R_1 > 0$ $R_2 < 0$ </div>  <div>Bi-convex</div>	<div> $R_1 = \infty$ $R_2 < 0$ </div>  <div>Planar convex</div>	<div> $R_1 > 0$ $R_2 > 0$ </div>  <div>Meniscus convex</div>

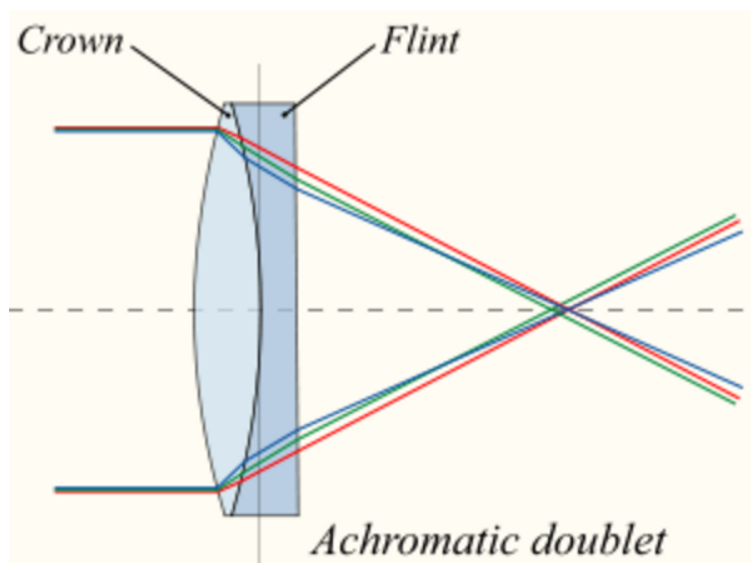
Sammensatte linser

Grunden, til at vi kan se regnbuer, er, at brydningsindekset for et specifikt materiale afhænger af lysets bølgelængde. Brydningsindekset for blå lys er en lille smule højere end for rødt lys. Dette fænomen kaldes *dispersion*. Hvis man forsøger at fokusere hvidt lys ved hjælp af en enkelt stor linse, vil man se et farvet uskarpt billede. Dette kaldes *kromatisk aberration*, og er illustreret på den følgende figur:



Kromatisk aberration viser sig tydeligst for store linser og ved store forstørrelser.

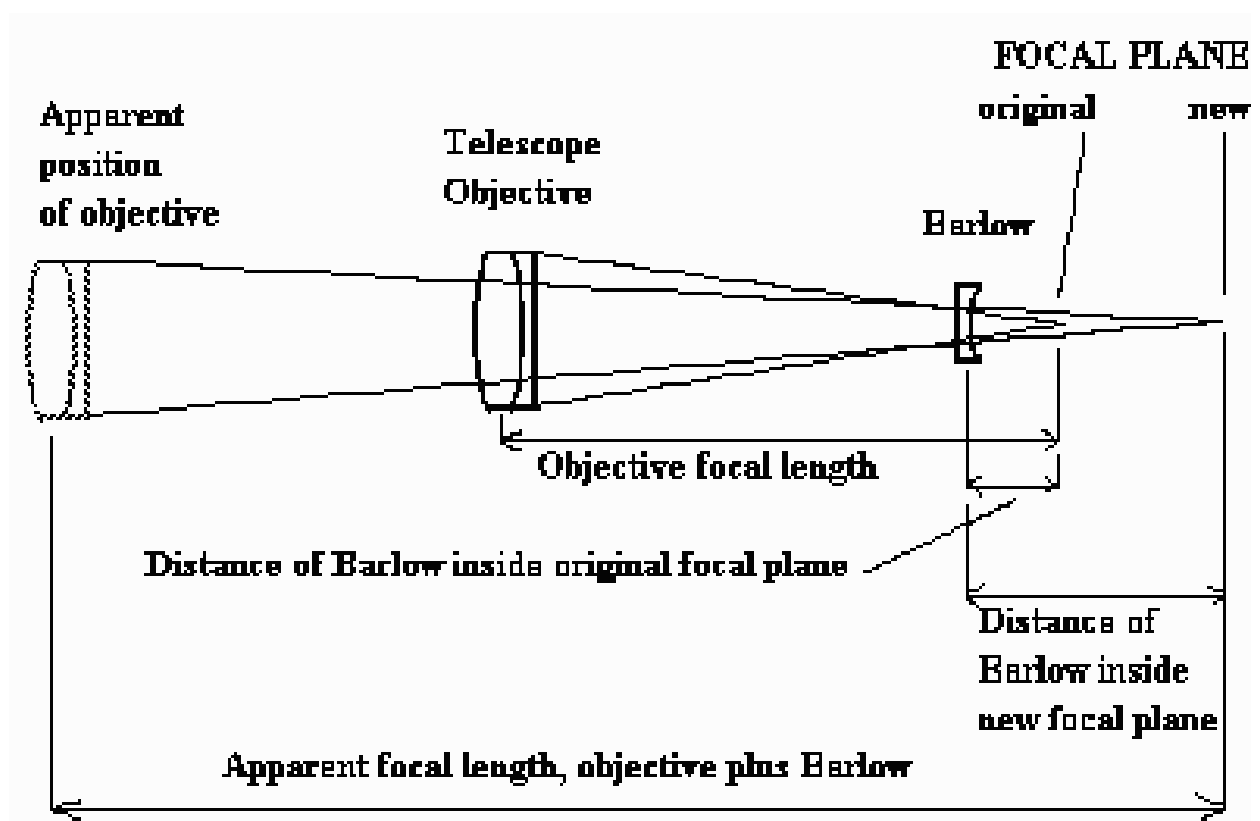
Kromatisk aberration kan til dels afhjælpes ved at benytte *sammensatte* linser. Sammensatte linser består af to eller flere enkelte linser, på engelsk kaldet *singlets*. Disse singlets kan have forskellige materialer mellem sig, så som luft, olie eller noget helt tredje. Ligesides kan de to (eller flere) singlets være lavet af forskellige glastyper. Et eksempel på en sammensat linse kan ses på den følgende figur:



Barlowlinsen

En Barlowlinse er en spredelinse, hvis formål er at forøge den effektive fokallængde, som den efterfølgende del af det optiske system opfanger. For monokromatisk lys vil en enkelt (dobbelt)konkav linse være nok for at virke som en spredelinse, men for at undgå kromatisk aberration for hvidt lys består de fleste Barlowlinser af 2 eller flere sammensatte linser.

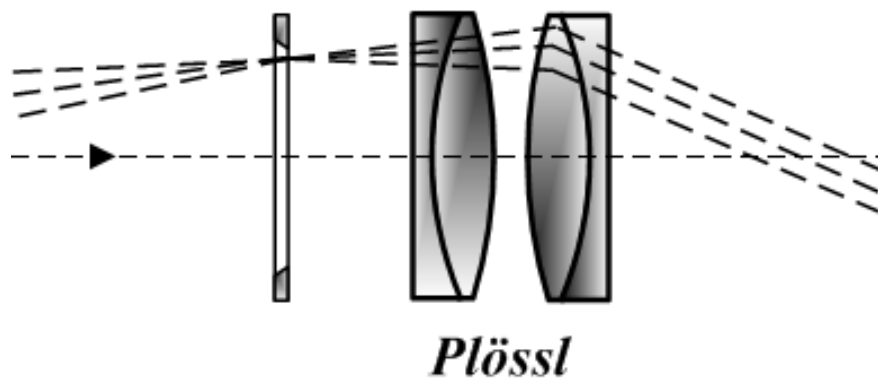
På den følgende figur kan ses et strålediagram for en Barlowlinse indsat i et teleskop:



I afsnittet om forstørrelse kunne det læses, at forstørrelsen for et teleskop kan beregnes som forholdet mellem objektivets brændvidde og okularets brændvidde. Da brændvidden for objektivet synes større ved benyttelse af en Barlowlinse, bruges Barlowlinsen oftest til forstørrelse. De fleste Barlowlinser skaber en forstørrelse på 2 eller 3.

Plössllinsen

Plössllinsen er et okular, som består af to doblets, som er sat symmetrisk op. Begge doblets er samlelinser og dermed er den samlede Plössllinse også en samlelinse. Et strålediagram for et Plösslokular kan ses på den følgende figur:



Galileoteleskopet

Et Galileoteleskop består af et positivt objektiv (en samlelinse) og et negativt okular (en spredelinse). Strålegangen i et Galileoteleskop kan ses i de to følgende figurer:

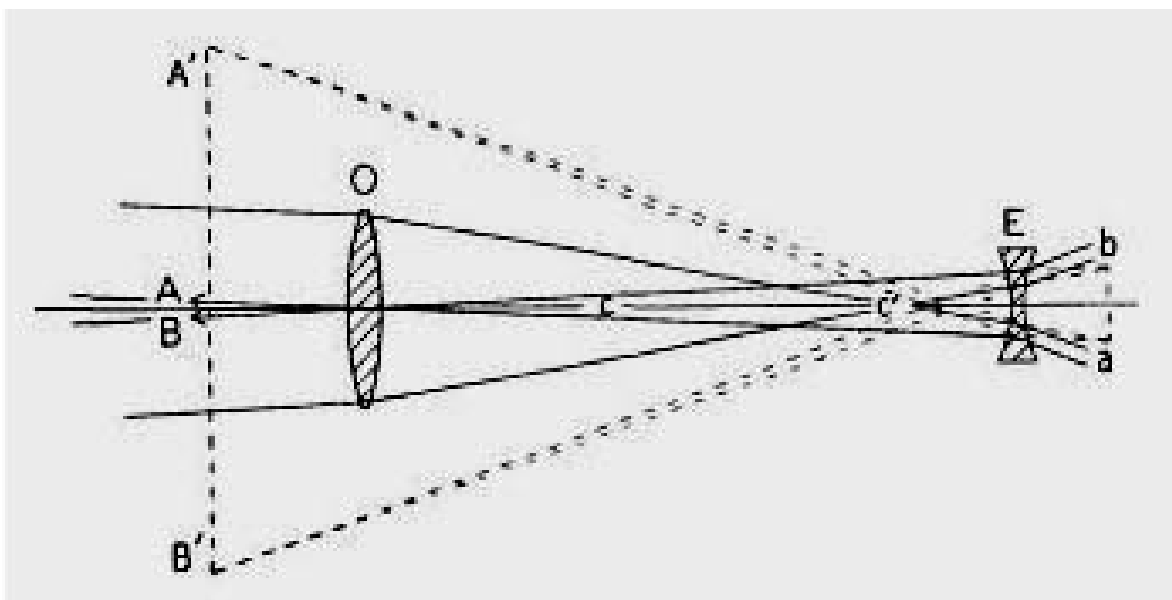
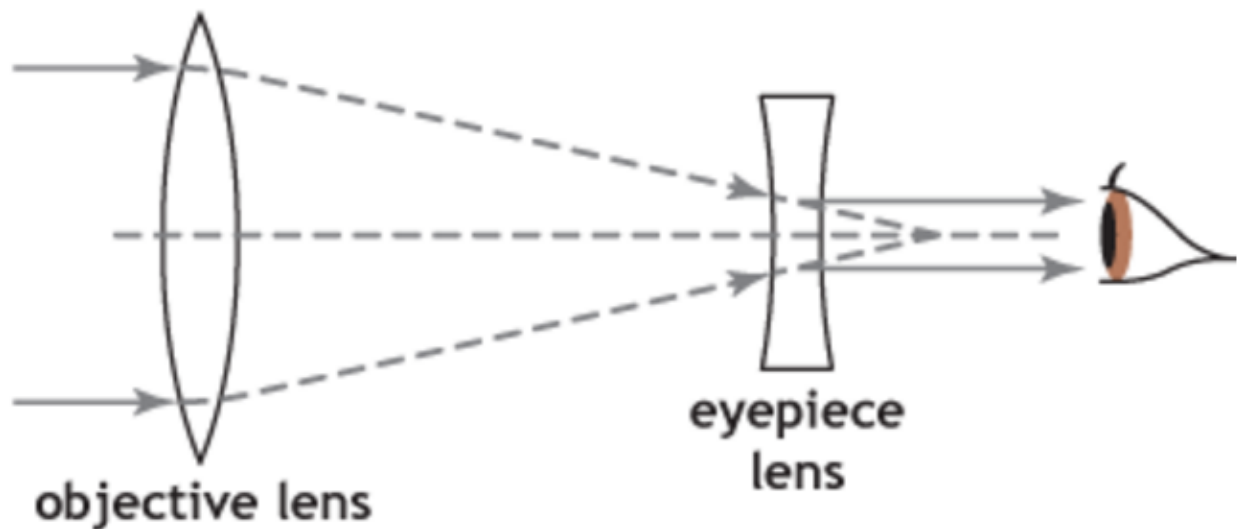


Fig. 2. Image formation in the Galilean (erecting) telescope.



Som det ses på den sidste af figurerne er okularet placeret nærmere objektivet end objektivets brændvidde. På denne måde samles de parallelle linjer. Det endelige billede er derfor retvendt og forstørret. Da strålerne fra okularet ikke samles men fortsætter parallelt, kan øjets pupil ikke se hele billedet på en gang. Dette er grunden til det lille synsfelt for et Galileoteleskop.

Brændvidderne for linser regnes med fortegn. Samlelinser er positive og spredelinser er negative. Afstanden mellem okularet og objektivet er derfor blot den algebraiske sum af de to linsers brændvidder.

Keplerteleskopet

Keplerteleskopet består af to samlelinser. En stor samlelinse med en stor brændvidde fungerer som objektiv, mens en mindre samlelinse med en mindre brændvidde fungerer som okular. På den følgende figur kan ses en typisk strålegang i et Keplerteleskop:

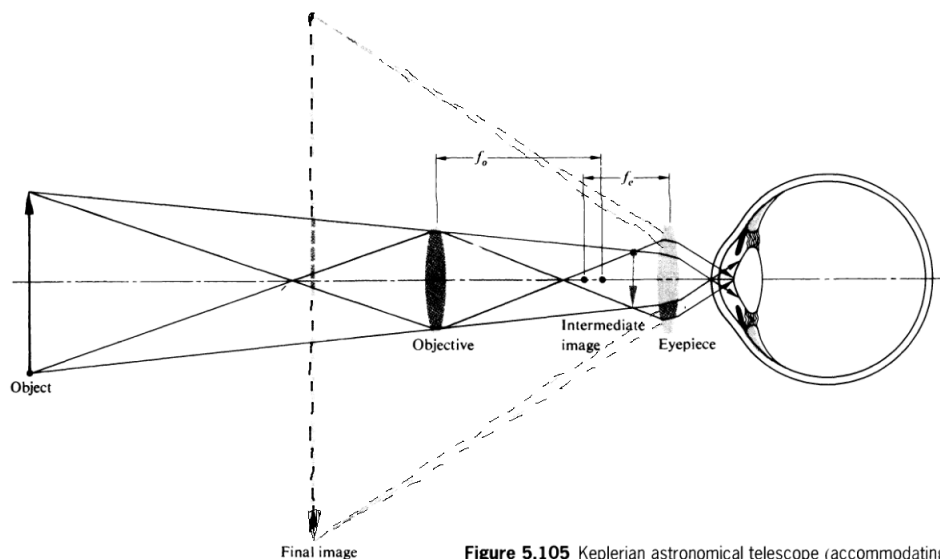


Figure 5.105 Keplerian astronomical telescope (accommodating eye).

Objektet befinder sig i en stor men *endelig* afstand fra objektivet. Ud fra konstruktionsreglerne nævnt tidligere, dannes der et virkeligt omvendt billede lidt længere væk fra objektivet end én brændvidde. Okularet benyttes nu som en lup til at forstørre det midlertidige omvendte billede. For at okularet kan fungere som en lup, skal det midlertidige billede være nærmere okularet end én brændvidde for okularet. Dette er også nævnt under de tidligere nævnte konstruktionsregler.

Et Keplerteleskop er typisk konstrueret således at brændvidden for objektivet overlapper med brændvidden for okularet. Ydermere er objektivet fast, mens okularet kan flyttes frem og tilbage. På den måde kan der med teleskopet kompenseres for lang- og nærsynethed, så teleskopet kan bruges uden briller.

Da okularet i et Keplerteleskop er en samlelinse, samles billedet fra okularet i øjet. Ved at samle lyset til et mindre areal kan øjet se alle strålerne på en gang. Dette forøger synsfeltet for et keplerteleskop. Samlingen af strålebundterne forøger også lysintensiteten, hvilket er ønskeligt for astronomer. Mere om lysintensitet senere.

Sammenlignet med Galileoteleskopet har Keplerteleskopet fordele og ulemper. Begge teleskoper forstørrer billedet, hvilket er godt. Galileoskopet danner et retvendt billede, hvilket gør det nemmere for os mennesker at navigere med. Til gengæld er synsfeltet meget lille. Keplerteleskopet på den anden side samler billedet, og giver et stort synsfelt. Prisen at betale er dog, at billedet er omvendt. Dette besværliggør navigation på nattehimlen, når op er ned og venstre er højre. Ude i rummet er der dog ikke noget, som hedder op og ned, og derfor er denne detalje ubetydelig for et astronomisk teleskop.

Lysintensitet

Intensitet er defineret som effekt per areal:

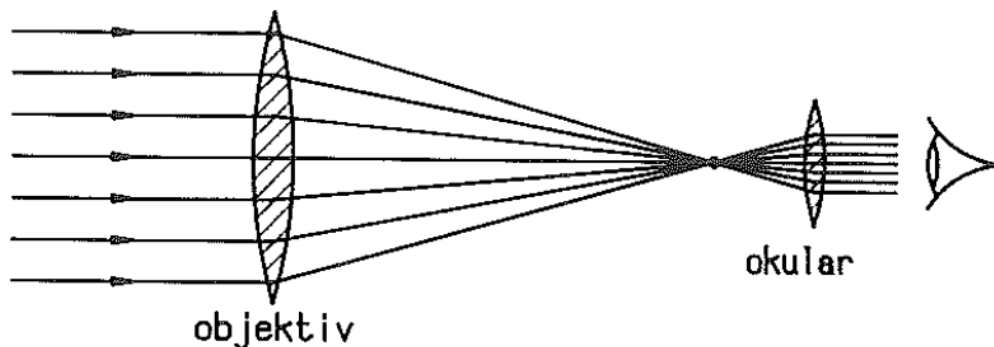
$$I \equiv \frac{P}{A}$$

Intensiteten er altså et mål for den energi, der per sekund strømmer gennem et areal på 1 m² vinkelret på strålingen.

Når man i et forstørrelsesglas eller et teleskop forstørrer billedet, formindsker man intensiteten. Dette skyldes, at effekten af lyset kommer fra selve genstanden og ikke ændre sig. Hvis den samme effekt bliver fordelt over et større areal ved forstørrelse, så falder intensiteten. Hvis et forstørrelsesglas forstørrer med en faktor 2, fordobles alle længder. Hvis alle længder fordobles betyder det at *arealet* 4-dobles. Derfor vil lysintensiteten blive 4 gange mindre, hvis forstørrelsen er 2.

Lyssamlingssevne for et teleskop

Et refraktivt teleskop består af to linser, et *objektiv* og et *okular*. Objektivet har typisk en stor diameter for at indsamle så meget lys som muligt, mens okularet til dels forstørrer billedet, men hovedsageligt bruges til at forøge lysintensiteten. Dette kan ses på den følgende figur:



Den indkomne effekt, som teleskopets objektiv modtager, er den samme effekt som passerer okularet, hvis der ses bort fra tab i det optiske system. Hvis objektivet diameter kaldes D og okularet diameter d kan følgende opskrives:

$$P_{\text{ind}} = P_{\text{ud}}$$
$$I_{\text{ind}} \cdot A_{\text{objektiv}} = I_{\text{ud}} \cdot A_{\text{okular}}$$

Af dette kan ses:

$$\frac{I_{\text{ud}}}{I_{\text{ind}}} = \frac{A_{\text{objektiv}}}{A_{\text{okular}}}$$

$$\frac{I_{\text{ud}}}{I_{\text{ind}}} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$\frac{I_{\text{ud}}}{I_{\text{ind}}} = \frac{D^2}{d^2}$$

Netop forholdet mellem den indkomne og udgående effekt kaldes *lyssamlingssevnen*

$$\text{Lyssamlingssevne} = \frac{D^2}{d^2}$$

Opløsningsevne

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D},$$

hvor θ er opløsningsevnen i *radianer*, λ er bølgelængden af det observerede lys i meter og D er diameteren af linsens *blænde* i meter.

For at bestemme opløsningsevnen i buesekunder i stedet for radianer skal man gennem følgende beregninger:

π radianer svarer til 180° , mens 1° svarer til $60'$ og $1'$ svarer til $60''$.

Derfor kommer den foregående ligning til at se således ud:

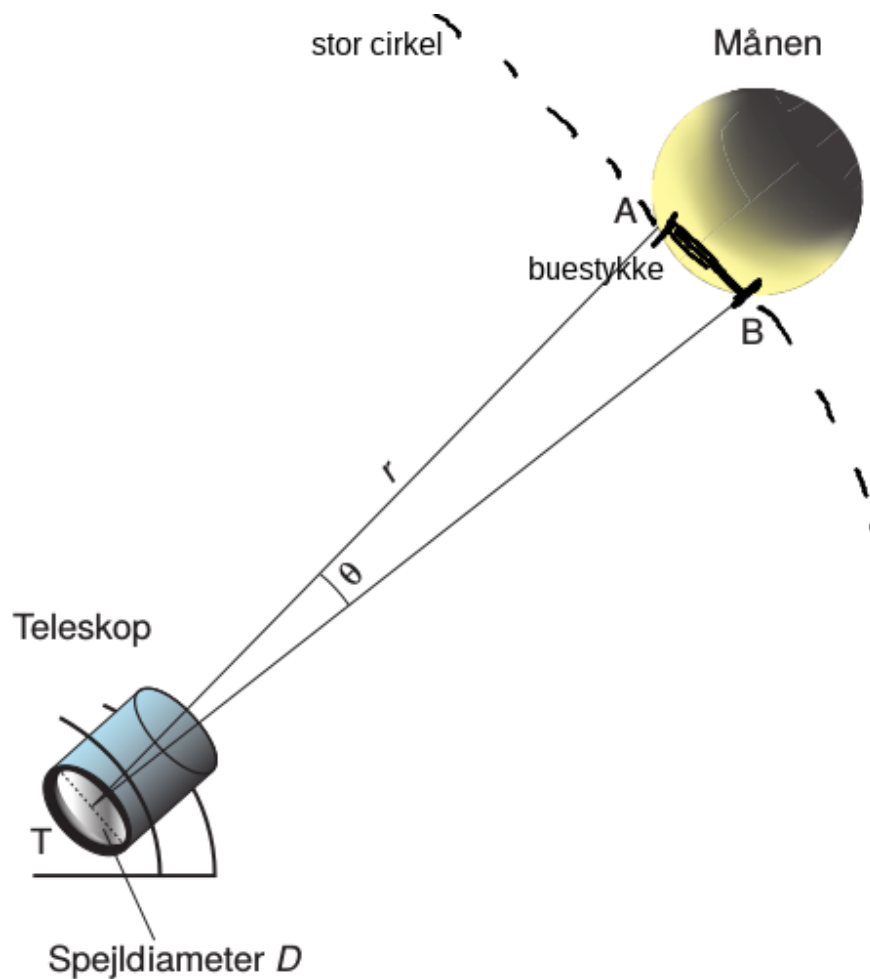
$$\theta = 1.22 \text{ rad} \cdot \frac{180^\circ}{\pi \text{ rad}} \cdot 60 \frac{'}{^\circ} \cdot 60 \frac{''}{'} \cdot \frac{\lambda}{D}$$

$$\theta = 251643.06'' \cdot \frac{\lambda}{D}$$

$$\theta \approx 2.52 \cdot 10^5'' \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Fra opløsningsevne til detaljestørrelse

For at kunne omregne opløsningsevnen fra en vinkel til en netop adskillelig afstand kan man betragte opløsningsevnen som den vinkel, der udspænder et buestykke i en cirkel, hvor radius svarer til afstanden mellem teleskopet og det observerede objekt. Dette er illustreret på den følgende figur:



Formlen for et buestykke er som følger:

$$b = \frac{2\pi r \cdot \theta}{360^\circ} \quad \text{for } [\theta] = ^\circ$$

hvor $[\theta] = ^\circ$ og enheden for b er den samme som for r .

Hvis θ i stedet regnes i *radianer*, bliver formelen blot:

$$b = r \cdot \theta \quad \text{for } [\theta] = \text{rad}$$

hvor enheden for b igen er den samme som for r .

Endelig, hvis opløsningsevnen beregnes i buesekunder, gælder følgende formel:

$$b = \frac{r \cdot \theta}{206265} \quad \text{for } [\theta] = ''$$

og enheden for b er selvfølgelig igen den samme som for r .

Regneopgaver

Opgave 1

En bikonveks tynd linse af glas ($n_l = 1.5$) har den samme krumningsradius på begge overflader.

1. Beregn krumningsradien, når fokallængden skal være $+ 10.0$ cm.
2. Vis, at hvis en edderkop står 1.0 cm fra linsen, så dannes billedet ved $- 1.1$ cm.
3. Tegn et strålediagram af opstillingen af linsen og edderkoppen.

Opgave 2

Betragt en plan-konkav linse af glas ($n_l = 1.5$), som har en krumningsradius på $+ 10$ cm.

1. Beregn linsens brændvidde.
2. Beregn linsens styrke i *dioptrier*.

Opgave 3

En genstand med en højde på 2 cm er placeret 5 cm til venstre for en positiv linse med en brændvidde på 10 cm.

1. Beregn billedafstanden.
 - Er billedet virkeligt eller indbildt?
2. Beregn *forstørrelsen*.
 - Er billedet omvendt eller retvendt?
 - Hvor højt er billedet?
3. Tegn en skitse af opstillingen og husk at påføre de forskellige mål, højder og afstande.

Opgave 4

Betragt en myre, som står 100 cm fra en negativ linse (spredelinse).

1. Linsen skal skabe et indbildt billede 50 cm foran linsen. Vis via beregninger at brændvidden derfor må være -100 cm.
2. Beregn forstørrelsen.
 - Er billedet omvendt eller retvendt?
 - Hvor stort er billedet af myren i forhold til den rigtige myre?

3. Tegn en skitse af opstillingen med de opgivne og beregnede størrelser påført.

Opgave 5

Der skal produceres en *doblet* bestående af en dobbeltkonveks linse, hvor begge krumningsradier har samme størrelse, samt en delvis konkav spredelinse, hvis ene overflade er i *intim* kontakt med den positive linse. Brydningsindekset for den positive linse (den dobbeltkonvekse linse) er 1.50, mens brydningsindekset for den negative linse er 1.55. Kald de fire krumningsradier for henholdsvis R_{11} , R_{12} , R_{21} og R_{22} . Brændvidden for den samlede linse skal være + 50 cm mens brændvidden for spredelinsen (linse nummer 2) er - 50 cm.

1. Tegn en skitse af opstillingen, og redegør for at $R_{11} > 0$, $R_{12} < 0$, $R_{21} < 0$.
2. Redegør med ord for at $R_{11} = -R_{12} = -R_{21}$
3. Vis vha. beregninger at $R_{11} = -R_{12} = -R_{21} = 25 \text{ cm}$
4. Vis vha. beregninger at $R_{22} = -275 \text{ cm}$
5. Tegn en ny skitse, hvor der er taget højde for de forskellige krumningsradier.

Opgave 6

Verdens største radioteleskop er det 300 meter store Arecibo teleskop på Puerto Rico. Verdens største optiske teleskop er det 10.4 meter store spejlteleskop på Gran Canaria (Gran Telescopio Canarias (GTC)). GTC observerer infrarødt lys med en bølgelængde på 1mm, mens Arecibo observerer ved en bølgelængde på 21 cm.

- Sammenlign opløsningsevnen for de to teleskoper ved observation af Mælkevejens centrum 27 000 lysår borte.

Opgave 7

Det store europæiske VLT kompleks i Chile består af fire teleskoper hver med et spejl på 8.2 meter. Det er muligt at få de fire spejle til at samarbejde, så de virker som et stort teleskop. Vi tænker os, de fire VLT spejle erstattet af et enkelt spejl, der har samme lyssamlingsevne.

1. Beregn diameteren af dette spejl.
2. Beregn i dette tilfælde lyssamlingsevnen sammenlignet med Hubbleteleskopet, der har en spejldiameter på 2.4 meter.
3. Beregn, hvor små detaljer, VLT kan skelne i Andromedagalaksen 2,7 millioner lysår borte, hvis det benyttes som interferometer med en største afstand mellem spejlene på 200 meter. Der observeres ved bølgelængden $\lambda = 550 \text{ nm}$.

Opgave 8

1. Beregn den teoretiske opløsningsevne for Hubble teleskopet ved bølgelængden 550 nm.

(Slå Hubble teleskopets diameter op)

Teleskopet er blevet brugt til at observere de 4 store jupitermåner i en afstand på omkring 700 millioner km.

2. Hvor små detaljer på månerne vil Hubble kunne skelne?
3. Overvej, om Hubble vil være i stand til at skelne detaljer på Pluto i en afstand på 6 milliarder km.

Facitliste

- Opgave 1

1. Benyt linsemagerens formel med $-R_1 = R_2$, $f = +10.0$ cm. Isolér R_1 og indsæt talværdierne. Det giver $R = |R_1| = 10.0$ cm.
2. Benyt linseformlen. Isolér b og indsæt talværdierne. Det giver så $b = -1.1$ cm.
3. Skal I selv tegne.

- Opgave 2

1. Benyt linsemagerens formel. Isolér f . $R_1 = \infty$ og $R_2 = -10$ cm. Brændvidden bliver da $f = -20$ cm. Der er altså tale om en spredelinse, hvilket stemmer overens med beskrivelsen af linsens form.
2. $D = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0.20 \text{ m}} = -5 \text{ m}^{-1}$.

- Opgave 3

1. Benyt linseformlen. Isolér b og indsæt talværdierne. $b = -10$ cm. Billedet er indbildt da b er negativ. Billedet er opret.
2. Forstørrelsen er givet ved $\frac{b}{g}$ og giver -2. Billedet af genstanden vil altså se ud til at være 4 cm højt.
3. Tegningen må I selv udføre. Det skal opstilles ligesom for en lup.

- Opgave 4

1. Benyt linseformlen hvor $g = 100$ cm, $b = -50$ cm. Isolér f . Det skal gerne give $f = -100$ cm.
2. Forstørrelsen bliver $-50/100 = -1/2$. Billedet er retvendt (og indbildt). Myreren er halv så stor på billedet, som i virkeligheden.
3. Tegningen må I selv udarbejde. Husk at der er tale om en spredelinse.

- Opgave 5

Facit står i opgaven.

- Opgave 6

Arecibo: 176.4' og GTC: 24.2"

I en afstand på 27 000 ly kan Arecibo adskille to punkter, som har en indbyrdes afstand på 23 ly, mens GTC kan adskille to punkter, hvis deres indbyrdes afstand er 3.17 ly.

- Opgave 7

1. Benyt formelen for lyssamlingsevnen på følgende måde

$$\text{Lyssamlingsevne}_{4 \text{ spejle}} = \text{Lyssamlingsevne}_{1 \text{ spejl}}$$

$$4 \cdot \frac{D_{4 \text{ spejle}}^2}{d^2} = \frac{D_{1 \text{ spejl}}^2}{d^2} \rightarrow$$

$$D_{1 \text{ spejl}} = \sqrt{4 \cdot D_{4 \text{ spejle}}^2}$$

$$D_{1 \text{ spejl}} = 2 \cdot D_{4 \text{ spejle}}$$

$$D_{1 \text{ spejl}} = 2 \cdot 8.2 \text{ m}$$

$$D_{1 \text{ spejl}} = 16.4 \text{ m}$$

$$2. \frac{\frac{D_1^2}{d^2}}{\frac{D_{\text{Hubble}}^2}{d^2}} = \frac{D_1^2}{D_{\text{Hubble}}^2} = \frac{16.4^2}{2.4^2} = 46.7.$$

VLT har altså en lyssamlingsevne, som er ca 47 gange større end Hubbleteleskopets.

3.

$$\theta = 2.52 \cdot 10^{5''} \cdot \frac{\lambda}{D} = 2.52 \cdot 10^{5''} \cdot \frac{550 \cdot 10^{-9}}{200} = 0.000693''$$

$$b = \frac{r \cdot \theta}{206265} = \frac{2.7 \cdot 10^6 \text{ ly} \cdot 0.000693}{206265} = 0.0091 \text{ ly} \sim 574 \text{ AE} \sim 86 \text{ mia km.}$$

- Opgave 8

$$1. \theta_{\text{Hubble}} = 0.0578''.$$

$$2. \text{ ca. } 196 \text{ km.}$$

$$3. \text{ ca. } 1680 \text{ km} - \text{altså ingen detaljer.}$$

Eksperimentelle opgaver

Eksperimentel bestemmelse af brændvidden for Galileoskopets linser

Formålet med dette forsøg er eksperimentelt at bestemme brændvidden for objektivet og okularet (Plösslinsen) i Galileoskopet.

Materialeliste

- Objektivet fra Galileoskopet. (Må gerne sidde i et halvt teleskop)
- Plösslokularet (Må gerne halveres)
- En semitransparent film (plastlomme eller lignende)
- En lineal

Fremgangsmåde og spørgsmål

- Skil Galileoskopet ad således at objektivet er frit tilgængeligt i det halve teleskop. Placer det halve teleskop og objektiv i holderne, således at I har styr på objektivet.
- Udvalg et objekt (gerne et lysende) i klassen og orienter det halve teleskop mod dette.
- Sæt den semitransparente film (plastlommen) op bag ved linsen.
- Flyt filmen tættere på eller længere væk fra objektivet. Bevæg linsen indtil der dannes et *skarpt* billede af objektet.
 - Er billedet retvendt eller omvendt? Er billedet forstørret eller formindsket i forhold til det originale objekt?
 - Mål afstanden mellem linsen og filmen. Skriv denne afstand ned. Hvad kaldes denne afstand?
- Udfør de samme skridt for Plösslokularet.
- Sammenlign jeres brændvidder med brændvidderne, som er opgivet for Galileoskopet.

Konstruktion af et refraktivt teleskop

Formålet med dette forsøg er at undersøge opsætningen og virkemåden for at refraktivt teleskop.

materialeliste

- Objektivet fra Galileoskopet. (Må gerne sidde i et halvt teleskop)
- Plösslokularet (Må gerne halveres)
- En semitransparent film (plastlomme eller lignende)
- En lampe af en slags
- En lineal

Fremgangsmåde og spørgsmål

- Lav samme opstilling som eksperimentet til bestemmelse af brændvidder.
- Dan et billede af lampen på filmen.
- Placer okularet bag ved filmen. Se på filmen gennem okularet. Flyt okularet indtil I observerer et fokuseret og forstørret billede af lampen.
- Mål afstandene mellem objektivet og skærmen, samt afstanden mellem skærmen og okularet. Er der en sammenhæng mellem disse afstande og brændvidderne for linserne?
- Forklar om I mener, at filmen er nødvendig eller ej. Opstil en hypotese.
- Test jeres hypotese ved at fjerne filmen og se på lampen igennem okularet. Beskriv jeres observationer.

Undersøgelse af opløsningsevne for Galileoskopets tre opsætninger

Materialeliste

- Papir
- Tegneredskab
- Galileoskop med alle linser
- Langt målebånd

Fremgangsmåde

- Tegn en lille figur eller lignende på et stykke papir.
- Se på papiret mens en anden går længere væk med papiret. Stop når figuren ikke kan tydes længere.
- Mål afstanden til papiret.
- Se nu på papiret gennem Galileoskopet og bevæg papiret længere væk.
- Opmål afstanden når figuren igen ikke ses tydeligt Galileoskopet.
- Gentag for Galileoskopets to andre opsætninger.

Beskrivelse af Galileoskopets tre opsætninger

- Forklar med strålediagrammer, teori og praktiske opmålinger, hvordan Galileoskopet virker i sine tre forskellige opsætninger.