

## Kapitel 5. Øjet og kikkerten som observationsredskaber

### 5.1. Øjet

Dette lille kapitel skal læses i sammenhæng med kapitel 3 i Allan Hornstrups bog, ”Mørkt stof i universet” hvori kikkerten samt CCD-detektoren er beskrevet.

#### Introduktion

Det menneskelige øje er en af de mest fantastiske sanser, mennesket har. Alligevel er mange menneskers syn ikke perfekt. Folk benytter sig ofte af hjælpemidler som for eksempel briller, kontaktlinser, kikkerter osv. Derfor kunne man umiddelbart tro, at øjet ikke er særlig anvendeligt som observationsredskab i astronomi.

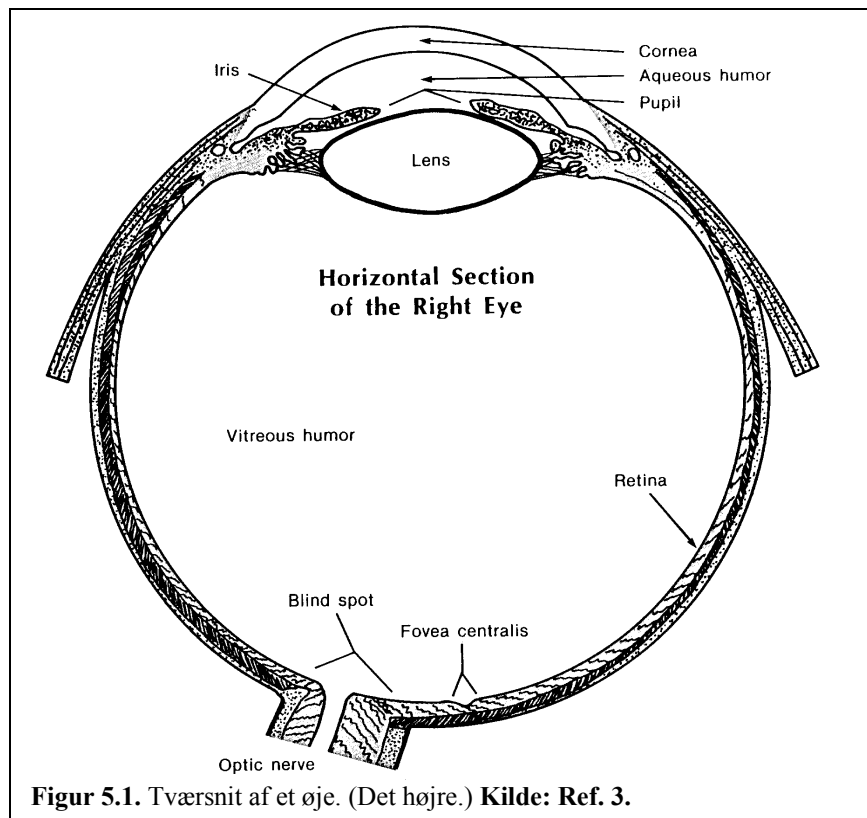
Dette er dog ikke korrekt. Som det følgende vil vise, er øjet en fremragende lysdetektor, som også er ganske anvendelig i astronomi, og derfor vil vi i det følgende kigge lidt på øjet som en observationsredskab.

#### Stave og tappe

I et øje findes der to slags lysdetektionsceller. Det ene er ansvarligt for farvesynet, mens det andet er ansvarligt for det sort/hvide syn.

Den ene slags celler kaldes for stave, mens den anden type kaldes for tappe. Stavene og tappene ligger placeret i det område af øjet, der kaldes retina – se figur 5.1.

Når lys rammer disse celler, sker der en fotokemisk reaktion, der danner en elektrisk impuls, som via synsnerven sendes til hjernen, som så kan fortolke de modtagne nerveimpulser. Dvs. det er hjernen, der *fortolker* synsimpulserne – øjet nøjes med at registrere lyset, man kigger på. Blandt andet derfor kan ens øjne ‘bedrage en.’ Det



**Figur 5.1.** Tværsnit af et øje. (Det højre.) Kilde: Ref. 3.

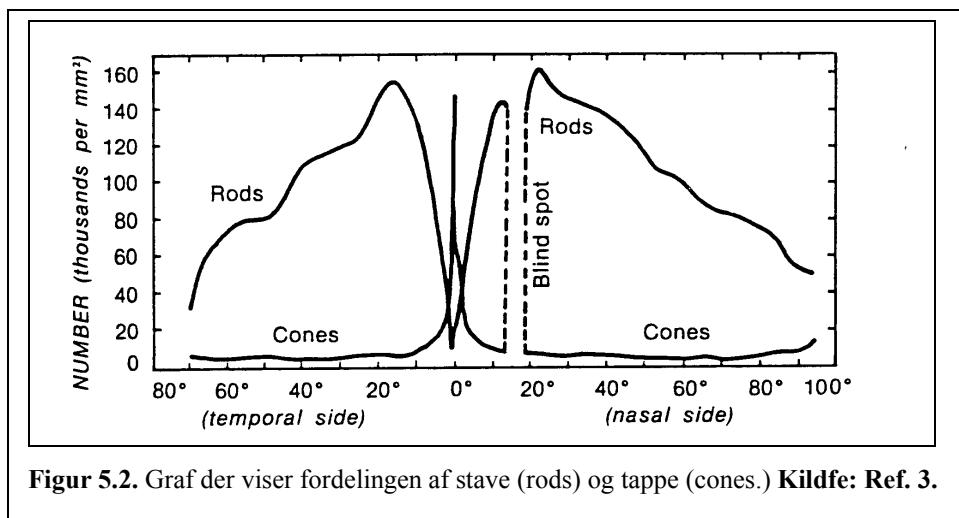
sker hvis hjernen på forhånd antager et bestemt synsindtryk og dermed fejlfortolker det, som øjet rent faktisk registrerer.

Stavene, som ligger spredt over et relativt bredt område på retina, se figur 5.2, er mere følsomme overfor lys end tappene, som ligger mere koncentreret lige bagved linsen. Stavene giver det sorthvide indtryk af objekter og tappene giver farveindtrykket. Da tappene kræver meget mere lys end stavene for at fungere ordentligt, er tappene fortrinsvist ude af drift om natten. Derfor kan vi kun benytte os af stavene om natten, og derfor kan vi kun se sort/hvidt om natten.

## Lysstyrkeenheder

2 faktorer bestemmer øjets detektion af lys. Den ene er den totale luminositet (lysstyrke eller effekt) et objekt har. Den anden faktor er objektets overfladeluminositet.

Overfladeluminositet er den totale luminositet delt med objektets overfladeareal.



Figur 5.2. Graf der viser fordelingen af stave (rods) og tappe (cones.) Kildfe: Ref. 3.

En umiddelbart logisk måde at beskrive et objekts luminositet og overfladeluminositet (luminans) på er ved at måle udstrålet effekt samt udstrålet effekt pr. areal, dvs. enheden for luminositet er  $W(\text{att})$  og for overfladeluminositet  $W/m^2$ . Man har dog alligevel fundet det anvendeligt at benytte andre enheder. Det skyldes, at øjet opfatter lysstyrker logaritmisk – for eksempel forekommer to 10W's pærer *ikke* at lyse dobbelt så kraftigt som en enkelt 10W's pære!

Derfor har man indført enhederne *candela*, *cd*, og *lumen*, *lm*. (Candela ~ candle betyder stearinlys på engelsk.) I gamle dage betragtede man lysstyrken fra en bestemt type stearinlys af en bestemt størrelse. I dag defineres en candela, som den mængde synligt lys et såkaldt 'absolut sort legeme' udstråler vinkelret ud fra et overfladeareal på  $1/600000 \text{ m}^2$  ved  $1773^\circ\text{C}$ . (Platins frysetemperatur.) Et sort legeme betyder iøvrigt, at det absorberer alt det lys, som falder *ind* på det – det behøver altså ikke at være sort. Endelig er enheden  $\text{lm} = \text{cd}/4\pi$ .

Ovenstående SI-enheder er lidt akavede at benytte sig af for en astronom, for astronomer har målt med et andet enhedssystem længe før candelaen slog igennem; og da man gerne vil sammenligne nye og gamle observationer, har astronomerne holdt fast ved det gamle system. Desuden er det også umuligt at bestemme overfladeluminositeten pr. areal, da overfladearealet næsten aldrig kan bestemmes.

Derfor benyttes normalt et andet logaritmisk mål – *størrelsesklasser* – i stedet for candelaenheder; overfladeluminositeten pr. vinkelareal kaldes *størrelsesklasser pr. kvadratbuesekund* eller

størrelsesklasser pr. kvadratbue minut. Størrelsesklassebegrebet vil i øvrigt blive behandlet i kapitel 6.

## Øjets opbygning

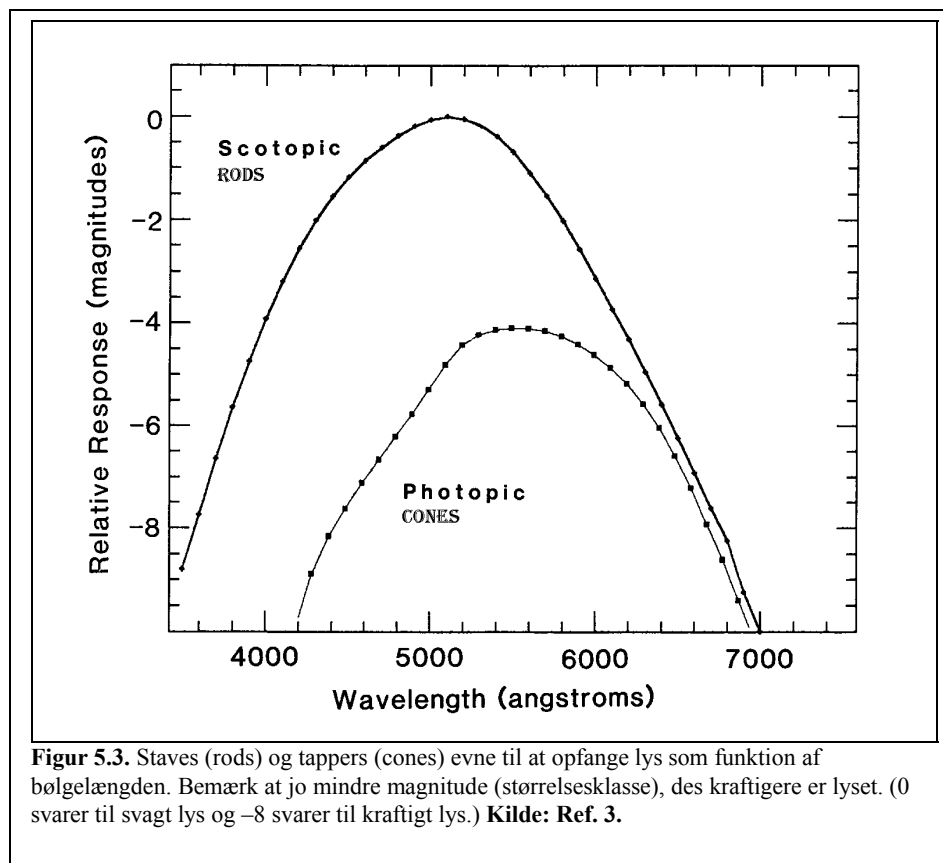
Betragt figur 5.1. Figuren viser et tværsnit af et højre-øje set ovenfra. Det består af et ydre lag kaldet cornea (hornhinde), som fungerer som en linse. Cornea dækker over et vandfyldt område, aqueous humor (forkammeret.) I aqueous humor ligger iris, som fungerer som en blænde for pupillen, hvor lyset trænger ind i linsen og videre gennem øjeæblet, vitreous humor (glaslegemet.) Vitreous humor er et væskefyldt område, der holder øjeæblet udspilet.

Iris fungerer som en blænde, der kan lukke en vis mængde lys ind i pupillen. Den kan have en bredde på mellem 2-3 mm op til 7-8 mm. Lysmængden kan varieres med en faktor ca. 16, hvilket umiddelbart lyder af meget. Det skal dog senere vise sig, at der er en anden effekt, som er meget mere betydningsfuld set fra en astronoms synsvinkel.

Linsen fokuserer det indkomne lys på et område bag på indersiden af øjet – dette område kaldes for retina (nethinden.) På retina ligger de lysfølsomme celler, som kaldes stave og tappe. Bemærk at stavene og tappene som tidligere nævnt ikke ligger jævnt fordelt på retina.

Tappene ligger koncentreret omkring fovea centralis (den gule plet) altså umiddelbart bagved linsen. Tappene er forbundet til nervesystemet via såkaldte ganglier, hvor der omkring fovea centralis er ca. 1 ganglie forbundet med en tap (eller stav.) Længere ude deles mange tappe og stave om en enkelt ganglie. Dermed kan et meget kraftigere signal sendes til hjernen via synsnerven ude fra de yderligt liggende områder af retina. Ganglierne er forbundet med nervesystemet, som via synsnerven sender signalet til hjernen, hvor impulserne analyseres og fortolkes.

Da der er mange stave ude i de ydre områder, og da signalerne fra ganglierne er kraftigere herude, er øjet mere følsomt overfor svagt lys i de yderligt liggende områder af retina i forhold til i de inderste områder. Signalet bliver opfattet som sort/hvidt lys da



stavene er i overtal langt fra fovea centralis. Stavene er også i sig selv mere lysfølsomme end tappene. Se figur 5.3.



**Figur 5.4.** Luk venstre øje og kig på den venstre plet. Hvis du er ca. 30 cm fra papiret vil den højre plet forsvinde. Effekten skyldes den blinde plet på retina. **Kilde: Ref. 1.**

Dette kan vi udnytte! Hvis et objekt er meget svagt på himmelen, kan man undlade at kigge direkte på objektet. I stedet skal man kigge ca.  $8^\circ$  til højre for objektet – hvis man ser med det højre øje. Dermed kan øjet bedre opfatte det svage lys. Man skal dog undlade at kigge til venstre for objektet, da lyset så risikerer at ramme øjets blinde plet. Man kan også kigge  $6^\circ$ - $12^\circ$  over eller under objektet. Se figur 5.4.

### At se i mørke

Når man umiddelbart efter at have været i kraftigt lys, kigger på nattehimmelen, kan man ikke rigtigt se noget. Øjet skal først tilvænnes til den svagere lysintensitet. Dette sker blandt andet ved at pupillen udvider sig og derved lukker mere lys ind i øjet.

At øjet udvider sig er dog ikke det fuldstændige svar på hvad der sker. Prøv at udføre følgende lille eksperiment: Stå i et mørkt lokale og vent et par minutter, så øjet kan vænne sig til mørket. Lad en makker tænde en lommelygte og lys forsøgspersonen i øjet. Pupillen reagerer inden for et par sekunder! Da det tager mange minutter at vænne sig fuldstændigt til mørket og pupillen reagerer på nogle få sekunder, må der altså være tale om anden effekt, der øger øjets lysfølsomhed.

Svaret skal søges i kemikaliet, *rhodopsin*, som dannes i øjet og akkumuleres i stavene og tappene. Rhodopsin dannes i store mængder, når det er mørkt, og i mindre mængder når det er lyst. Dette stof kan øge stavenes og tappenes lysfølsomhed ganske betragteligt. Det er faktisk dette kemikalie, der gør, at øjet har en følsomhed på ca.  $10^{13}$  (!) og ikke en faktor 16, som pupillen bidrager med. Rhodopsin tager ca. 30 minutter om at øges til sit maksimum, men der foregår dog en svag stigning i koncentrationen helt op til 2 timer efter, at mørket er indtruffet.

En anden effekt, man kan udnytte, er, at øjet er i stand til at summere (integrere) opfanget lys! Hvis man kigger mod et tilsyneladende usynligt objekt, så kan tålmodighed – dvs. ca. 6 sekunders observeren på objektet - gøre, at objektet alligevel kan opfattes. Desværre har træthed en tendens til at få øjet til at flakke, og så ødelægges evnen. Derfor er det vigtigt ikke at være alt for træt, hvis man vil benytte denne mulighed.

Alt i alt kan øjet registrere lys med luminanser fra  $1,05 \cdot 10^{-8}$  lm/m<sup>2</sup> og helt op til  $1,30 \cdot 10^5$  lm/m<sup>2</sup>. Det første tal svarer til de mest lyssvage stjerner, vi kan se i buldermørke, og det andet tal svarer til at kigge ind i Solen. (Noget man naturligvis aldrig må gøre, da retina så brænder af!)

Med hensyn til farveopfattelsen, så er der nogle enkelte objekter, man godt kan se under de rette observationsbetingelser. Tappene fungerer nemlig stadigvæk ved en luminans på  $2,4 \cdot 10^{-6}$  lm/m<sup>2</sup>. Enkelte stjerner, Rigel og Betelgeuse i Orion, lyser stærkere end ovenstående grænseværdi, så deres

blå og røde farver kan godt opfattes. Ligeledes kan Mars' røde farve genkendes og Oriontågen M42's svagt grønne skær kan også med lidt held opfattes.

Men da tappene og stavene ikke er lige lysfølsomme, og fordi de ikke har samme bølgelængdeafhængighed, se figur 5.3, er den opfattede farve ikke altid den farve, som objektet rent faktisk lyser med! Denne effekt kaldes *Purkinjeeffekten*, og den er ret personafhængig. Hvis 2 mennesker kigger på det samme objekt i den samme kikkert er det ikke sikkert, at de opfatter lysstyrken og farven på objektet på samme måde.

## Synet og helbredet

Et øje fungerer bedst, hvis man har tilstrækkeligt med A-vitamin og zink i kroppen. Hvis man tror, man er i underskud for disse stoffer er det en god ide at tage nogle kosttilskud for at afhjælpe manglen. Dog opnåes ingen effekt ved at tage for meget A-vitamin og zink. Faktisk kan for meget A-vitamin være farligt!

Et højt blodsukkerniveau styrker også synet, så det er en god ide at have spist, inden man observerer. Bemærk dog, at et abnormt højt blodsukkerindhold, som diabetikere for eksempel kan få, kan give sygdommen grøn stær, som fører til blindhed – en uheldig ting for en astronom.

Et højt iltindhold i blodet er også synsforbedrende. Således kan tung vejtrækning forbedre synsevnen en smule, især hvis man befinder sig i bjergegne. Igen er overdrivelse af det onde, og hyperventilering kan lede til besvimelse. Da rygning substituerer  $O_2$  med  $CO$  i blodet kommer kroppen i iltmangel og derved formindskes synsevnen en smule. Derfor er det ikke godt at ryge, hvis man vil observere svage objekter.

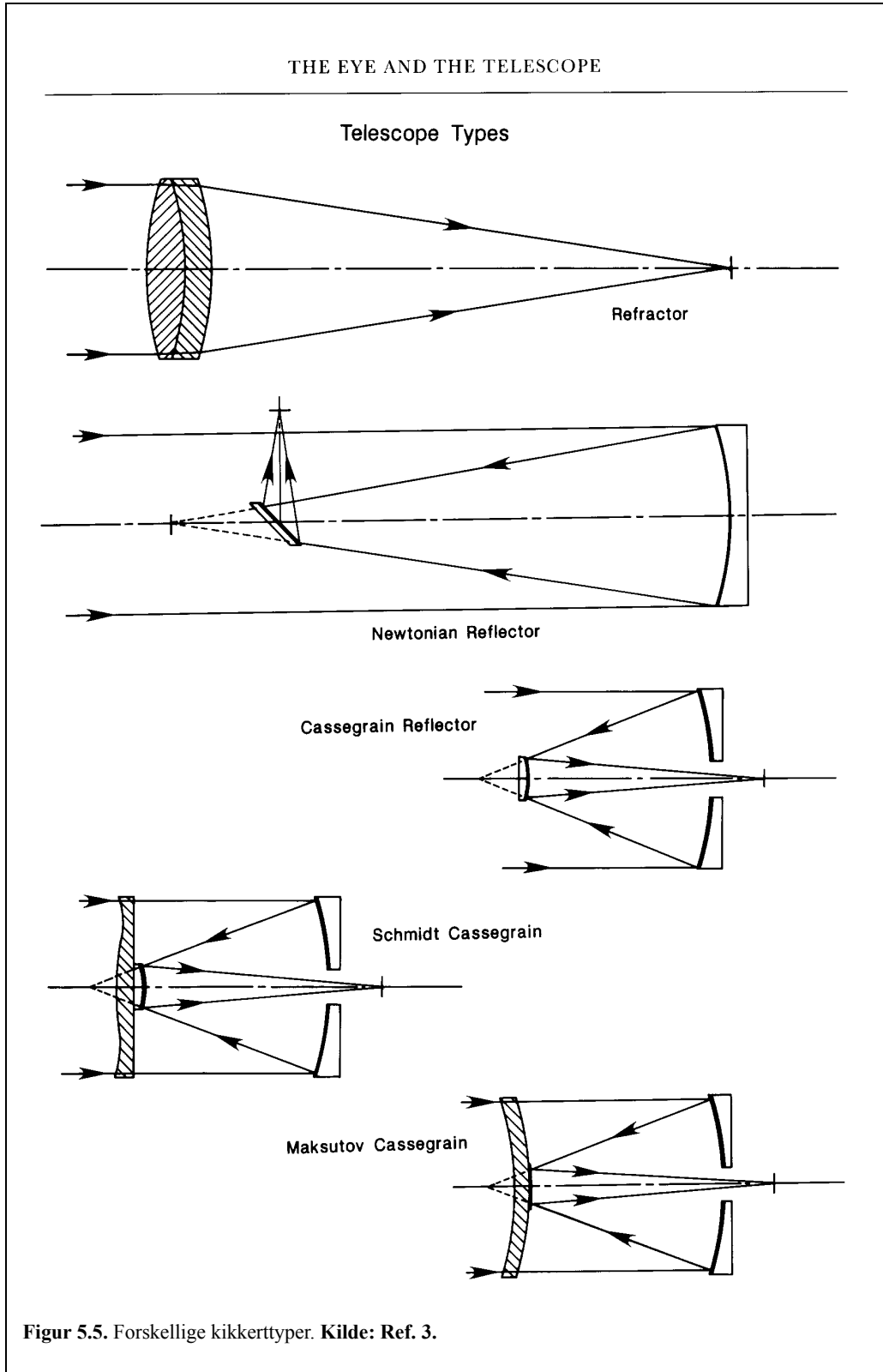
Alkohol formindsker øjets evne til at se kontraster. Det forstyrrer også kontrollen over øjenmusklerne og dermed forstyrres også muligheden for at udnytte øjes evne til at opsummere (integrere) lys.

Skarpt UV-lys og sollys kan forsinke dannelsen af rhodopsin med *flere dage*, hvorfor solbriller med UV-beskyttelse er vigtige redskaber i dagene op til en kompliceret observationsnat. UV-lys kan også gøre øjenlinsen mat og øge ældningsprocessernes hastighed i retina. Derfor er brilleglas med UV-beskyttelse generelt en god ting, hvis man normalt bærer briller.

Endelig formindskes pupillens evne til at åbne sig med alderen. Hvis man er teenager eller i 20'erne kan pupillerne åbnes til 7-8 mm, men en 80 årige pupiller kan kun åbnes 3-5.5 mm. Blandt andet derfor ser ældre mennesker generelt ikke så godt som yngre. Dette problem kan dog foreløbig ikke afhjælpes.

## 5.2. Kikkerten

Foruden de kikkertyper, som er omtalt i Allan Hornstrups ”Mørkt Stof,” findes der andre typer, som vi kort vil omtale her. Se figur 5.5.



De forskellige kikkerttyper har hver deres fordele og ulemper - refraktoren kan med nutidens avancerede linser lave et krystalklart billede i forhold til spejlteleskoper af samme størrelse. Desværre er linser meget dyrere at lave end spejle, og de bliver også meget tungere og ganske u håndterlige, når man vil lave store kikkerter. Derfor bruges praktisk taget kun spejlteleskoper i nutidens observatorier.

Newton-kikkerten har et parabolisk hovedspejl og et lille plant spejl stukket ind i toppen af kikkerten, så lyset kan afbøjes ind mod okularet. Kikkerten kan konstrueres til at have en meget lille  $f$ -værdi (se næste afsnit), som giver et stort synsfelt. Den største ulempe ved typen er, at der er en billedfejl i optikken, som kaldes coma.

Cassegrain-kikkerten har et parabolisk primærspejl og et konvekst hyperbolisk sekundærspejl. Den er mere kompakt end en Newtonsk kikkert; ellers er dens ulemper tilsvarende Newton-kikkerten.

Schmidt-Cassegrain-kikkerten. Denne kikkert har en linse forrest, som minimerer optiske fejl, som de 2 foregående spejlkikkerter har - desuden beskyttes primær- og sekundærspejlene for støv, skidt og fugt, fordi det hele er lukket inde. Ulempen er, at kikkerten er dyrere end de 2 foregående.

Maksutov-kikkerten har et sfærisk primærspejl samt en korrektionslinse, der minder om Schmidt-Cassegrain'ens. (Formen er anderledes.) Kikkerten er endnu mere kompakt end Schmidt-Cassegrain'en, og den har endnu færre optiske fejl end de andre spejlkikkerter, men den er sværere at konstruere og derfor er den dyrere end de andre spejlkikkerter.

### **Beregninger af forstørrelse, $f$ -tal og synsfelt**

Kikkerten har forskellige okularer, og dermed kan man observere områder med forskellige forstørrelser samt forskellige feltstørrelser. Man kan beregne feltstørrelsen/synsfeltet og forstørrelsen af opsætningen ud fra følgende formler:

$$m = f_{\text{teleskop}}/f_{\text{okular}} \quad \text{og} \quad \varphi = \varphi_{\text{okular}}/m$$

hvor  $f$ 'erne angiver brændvidderne for hhv. teleskopet og okularerne,  $m$  angiver forstørrelsen af teleskopsystemet,  $\varphi_{\text{okular}}$  er okularets tilsyneladende synsfelt og  $\varphi$  er teleskopsystemets feltstørrelse, dvs. den vinkeludstrækning man kan se, når man kigger igennem kikkerten.

Foruden at observere visuelt, kan man isætte en såkaldt CCD-detektor. Dens virkemåde er beskrevet i "Mørks stof i universet," af Allan Hornstrup.

Hvis man påsætter en CCD-detektor i stedet for et okular gælder følgende formel:

$$\varphi = 2 \cdot \tan^{-1}(10\mu\text{m} \cdot N / (2 \cdot f_{\text{teleskop}}))$$

hvor  $\varphi$  er CCD-detektorens feltstørrelse målt i radianer og  $N$  er antallet af pixler i enten  $x$ - eller  $y$ -retningen. Tallet  $10\mu\text{m}$  er pixelbredden i enten  $x$ - eller  $y$ -retningen.

Se i øvrigt data for vore okularer og CCD-detektor nedenfor.

## Skolens udstyr

Skolen har 2 Celestron-refraktorer, en håndkikkert der forstørrer 20 gange samt en Celestron Schmidt-Cassegrain C8+ spejlkikkert.

Refraktorerne har en åbning på 60mm og en brændvidde på 700mm, dvs. de er f11,6 kikkerter. Begge kikkerter er bedst velegnet til introducerende arbejde.

Schmidt-Cassegrain'en har en brændvidde på 2000mm/1250mm og en diameter på 8". (Tommer.) Dvs. det er en f10 eller f6,3 kikkert. (Brændvidden kan reduceres med en påsat fokalforkorter.) Det giver et rimeligt stort synsfelt og god lysfølsomhed. Kikkerten er monteret med RA-ur, som bevirker, at kikkerten kan placeres på et objekt (stjerner eller lignende) og blive der på trods af, at Jorden roterer.

Til kikkerten er der 3 okularer med brændvidder på 25mm, 14mm og 4,7mm.

| Navn  | Brændvidde | Tilsyneladende synsfelt |
|---|------------|-------------------------|
| Søgekikkert (m=6)                             |            | 42°                     |
| Celestron 25mm okular                         | 25 mm      | 52°                     |
| Meade 4,7 mm                                  | 4,7 mm     | 84°                     |
| Meade 14 mm                                   | 14 mm      | 84°                     |
| Teleskopets brændvidde, $f_{\text{teleskop}}$ | 1250 mm    | MED fokalforkoter isat. |

$f_{\text{teleskop}} = 2000$  uden fokalforkorter isat  $N_x=320$   $N_y=240$

Øvelse: Beregn kikkertforstørrelserne hvis man bruger de 3 linser til Schmidt-Cassegrain'en.

-0-

## Referencer

1. Fysikkens Verden 2. F. Elvekjær & B. D. Nielsen. Gjellerup & Gad, 1989.
2. Mørkt stof i Universet. Allan Hornstrup, Fysikforlaget, 1996.
3. Visual Astronomy of the Deep Sky. Roger N. Clark, Cambridge University Press & Sky Publishing Corporation, 1990.



## Øvelse 1

Formålet med denne øvelse er at blive fortrolig med lysets afbøjning og refleksion gennem prizmer og spejle.

Apparatur: Lyskasserne som er fast inventar ved arbejdspladserne i laboratoriet samt en spændingskilde.

Fremgangsmåde: Forbind lampen til spændingskilden og sæt spændingsforskellen til 12V. Læg en plastikskive, som er forsynet med nogle ridser, ind foran pæren og betragt det parallelle lysbunt.

1. Læg nu forskellige prizmer ind foran og se, hvordan de enten spreder eller samler lyset. Tegn formen af de prizmer, der spreder lyset og gør det samme for samlelinserne.
2. Der ligger også nogle krumme spejle i kassen. Forsøg at sprede og samle lyset med disse og tegn hvordan lyset bevæger sig ved de forskellige spejle.
3. Bestem brændvidderne for linsene og benyt dem til først at fokusere lyset, for derefter at gøre strålerne parallelle igen. (Prøv med 1 sprede- og 1samlelinse samt 2 spredelinser.) Hvad kaldes det, du har lavet?

## Øvelse 2

Formålet med øvelsen er at forstå, hvordan objekter repræsenteres i en kikkert.

Apparatur: En refraktorkikkert eller spejlkikkerten, samt et stykke papir.

Fremgangsmåde:

1. Tegn en lille figur, som ikke er symmetrisk omkring 2 vinkelrette akser. (F.eks. kan du tegne en person, som vinker med den ene arm, mens den anden arm ligger ned langs siden.)
2. Lad din makker holde tegningen lodret, mens du selv kigger på tegningen gennem kikkerten. Tegn hvad du ser. Lad makkeren prøve det samme. Læg mærke til hvor lidt man skal bevæge tegningen, før tegningen hopper og danser set fra kikkerten.
3. Betragt nu spejlkikkerten. Hvorfor er den mon hængt op på den måde, den er ophængt på? Hvad betyder de skalaer, man kan se på kikkertmotoren samt på gaffelarmene? Prøv **forsigtigt** at skrue okularet helt af og se ind i kikkerten. Forklar hvad det er, du ser.

## Øvelse 3

Formålet er at blive fortrolig med at reducere et billede.

Et billede, man optager med sit eget udstyr, er ikke umiddelbart sammenligneligt med andre astronomers optagelse af det samme objekt - udstyret og observationsbetingelserne er jo ikke altid de samme. Derfor skal billedet *reduceres*, dvs. man skal have fjernet udstyrets påvirkning af målingerne, og man skal også gerne have minimeret atmosfærens påvirkning af resultaterne.

Det sidste venter vi med til senere, og så vil vi nu nøjes med at undersøge udstyrets påvirkning af målingerne.

Fremgangsmåde

I kataloget E:\MADM ligger 4 filer. Et såkaldt flatfeltbillede, et darkcurrent-billede, et baggrundsbillede, og så et billede af objektet.

1. Start programmet CCDOPS og indlæs et tilfældigt billede fra E:\madm kataloget.
2. Leg lidt med de forskellige funktioner i programmet og se hvad der sker. Skriv evt. et billede ud på printeren.
3. Indlæs nu billedet dio.255.
4. Vis billedet på skærmen under menupunktet IMAGE.
5. Vælg menuen UTILITY og gå ind og vælg DARK SUBTRACT. Vælg dark-current billedet og indlæs det. Vis billedet igen. (Benyt X-HAIR punktet til at tælle pixelværdier forskellige steder på billedet - udvælg for eksempel en bestemt pixel og noter dens pixelværdi efterhånden som punkt 3-5 udføres.)
6. Vælg menuen UTILITY og gå ind og vælg DARK SUBTRACT endnu en gang. Vælg nu baggrund-billedet og indlæs det. Vis billedet igen.
7. Vælg menuen UTILITY og gå ind og vælg FLAT FIELDING. Vis billedet igen.
8. Forklar kort hvad de enkelte punkter skal gøre godt for.

Du har nu fjernet de fleste af udstyrets forstyrrelser af det rene billede.