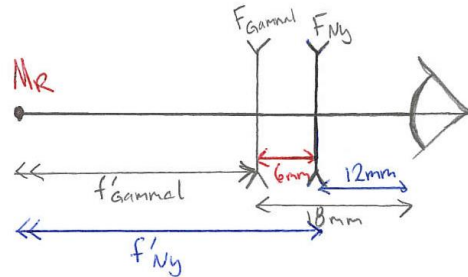


# Lösningar till tentamen i Ögats optik

Fredag 12 januari 2018

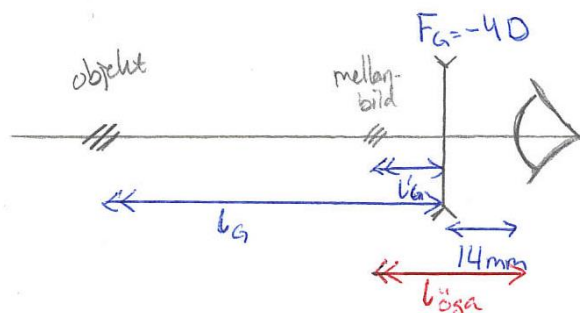
1. Räkna på varje huvudsnitt för sig (samma figur fungerar i båda fallen)! HS125:  $f_{Gammal} = 1/(-8,50 \text{ D}) = -0,1176 \text{ m}$  ska göras 6 mm längre för att få den nya fokallängden  $f_{Ny}$  alltså  $F_{Ny} = 1/(-0,1236 \text{ m}) = -8,09 \text{ D}$ . HS35:  $f_G = 1/(-9,50 \text{ D}) = -0,1053 \text{ m}$  ska också göras 6 mm längre,  $F_{Ny} = 1/(-0,1113 \text{ m}) = -8,99 \text{ D}$ . Nya glasögonkorrektionen blir alltså  $-8,00 \text{ D}/-1,00 \text{ D} \times 125$  är alltså mindre negativ än glasögonrefraktionen på det längre toppunktsavståndet = stämmer!



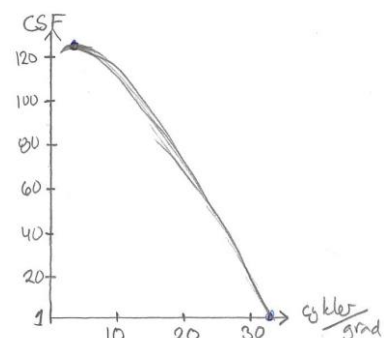
2. Ny styrka = Gammal styrka – tårlinsändring + överrefraktion. Ändringen till mindre kupig lens (0,10 mm längre BOZR) ger att tårlinsens styrka ändras med  $-0,50 \text{ D}$ . Överrefraktionen för att kunna se även stående linjer är  $-1,5 \text{ D}$  i HS180, dvs  $0 \text{ D}/-1,50 \text{ D} \times 90$ . Denna toriska korrektion läggs lämpligen på lensens främre yta. De nya lenserna ska alltså vara yttertoriska med styrkan  $+1,00 \text{ DS} - (-0,50 \text{ DS}) + (0 \text{ D}/-1,50 \text{ D} \times 90) = +1,50 \text{ D}/-1,50 \text{ D} \times 90$ .

3. Medelvärdet =  $((+2,50 \text{ D}/-1,00 \text{ D} \times 95) + (+2,00 \text{ D}/-0,750 \text{ D} \times 120))/2$ . Olika axlar, astigmatisk dekomposition:  $M_{medel} = (2,00 + 1,625)/2 = +1,8125 \text{ D}$ ,  $J_{0,medel} = (-0,4924 + -0,1875)/2 = -0,340 \text{ D}$ ,  $J_{45,medel} = (-0,0868 + -0,3248)/2 = -0,2058 \text{ D}$ . Alltså är medelvärdet i infrarött:  $+2,25 \text{ D}/-0,75 \text{ D} \times 106 (+2,21 \text{ D}/-0,79 \text{ D} \times 105,6)$ . Men ögats longitudinella kromatiska aberration gör att refraktionen i synligt ljus är mindre hyperop, ca  $0,5 \text{ D}$  enligt figur 15.6. Autorefraktorn borde alltså ha räknat fram  $+1,75 \text{ D}/-0,75 \text{ D} \times 106$ .

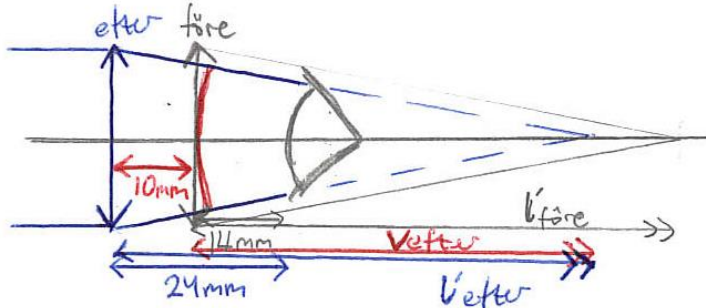
4. Använd  $A = K - L_{öga}$ ! Avbildningen av liggande linjer styrs av HS90 och där är ögats synfel  $K = -3,50 \text{ D}$ . Rita en figur för att hitta  $L_{öga}$ : linjerna är objekt för glasögat ( $l_G = -1 \text{ m}$ ) och avbildas till en mellanbild ( $L'_G = L_G + F_G = -1 \text{ D} + -4 \text{ D} = -5 \text{ D}$  ger  $l'_G = -0,2 \text{ m}$ ) som sedan är objekt för ögat  $l_{öga} = \text{avståndet från ögat till mellanbilden} = -(0,2 \text{ m} + 0,014 \text{ m}) = -0,214 \text{ m}$ , dvs  $L_{öga} = -4,67 \text{ D}$ . Ögat behöver alltså ackommodera  $A = -3,50 \text{ D} - (-4,67 \text{ D}) = 1,2 \text{ D}$ .



5. Vi har fått två punkter på CSF-kurvan.  $V = 1,1$  vid 100% kontrast innebär att kurvan går ner till 1,0 ( $CSF = 1/c_m = 1/1,00$ ) vid 33 cykler/grad (=  $1,1 \times 30$ ). Ränderna har en spatialfrekvens av  $1/0,5^\circ = 2$  cykler/grad (alternativt kan man tänka att  $2 \times A = 0,5 \times 60$  bågminuter) och 0,8 % kontrast motsvarar  $CSF = 1/0,008 = 125$ .



6. Effektiv addition innebär att om man förflyttar glasögonen bort från ögat så motsvarar det en upplevd extra läsaddition och ögat behöver inte ackommodera lika mycket. Det sker både för positiva och negativa glasögon. Se figuren nedan för beräkningar. Effektiv addition  $= V_{efter} - V_{före}$ .  $V_{före} = L'_{före}$  och  $V_{efter} = 1/v_{efter}$ . Avlägset objekt innebär att glasögat alltid avbildar mellanbilden till sin bakre fokuspunkt, d.v.s.  $l'_{före} = l'_{efter} = f' = 1/(9,00 D) = 0,111$  m. Vergensen efter förflyttning i ursprungligt glasögonplan  $v_{efter}$  från ursprungligt plan (där glasögat satt först) till mellanbild efter förflyttning  $= l'_{efter} - 10 \text{ mm} = 0,101$  m. Alltså effektiv addition  $= V_{efter} - V_{före} = 1/(0,101 \text{ m}) - 1/(0,111 \text{ m}) = 0,89 D$ .



7. Söker (bildstorlek med glas på 24 mm) / (bildstorlek med glas på 14 mm). Det kan beräknas på olika sätt, men ett smidigt är att ta  $SM_{glas24} / SM_{glas14}$ . ( $RSM_{glas24} / RSM_{glas14}$  funkar lika bra i detta fall). Med  $SM = 1 / \{ (1 - aF'_v) (1 - (t/n)F_1) \}$ , så är det bara  $a = v_d + 3$  mm som ändras mellan de två avstånden och  $SM_{glas24} / SM_{glas14} = 1 / \{ (1 - a_{24}F'_v) (1 - (t/n)F_1) \} / (1 / \{ (1 - a_{14}F'_v) (1 - (t/n)F_1) \}) = \{ (1 - a_{14}F'_v) (1 - (t/n)F_1) \} / \{ (1 - a_{24}F'_v) (1 - (t/n)F_1) \} = (1 - a_{14}F'_v) / (1 - a_{24}F'_v)$  med  $F'_v = +9,00 D$ ,  $a_{14} = 0,017$  m och  $a_{24} = 0,027$  m blir det 1,12. Bilden blir alltså 12 % större med glaset på  $v_d = 24$  mm jämfört med  $v_d = 14$  mm. ( $F_1 = +10 D$ ,  $SM_{glas14} = 1,23$  &  $SM_{glas24} = 1,38$ )

8. WF1 är en vågfront med stora refraktiva fel, stor koma och stor sfärisk aberration, vilket allt tillsammans ger en stor suddighet i bilden och hör därför samman med den sämsta punktspridningsfunktionen, dvs PSFb. WF2 och WF3 har samma mängd sfärisk aberration, men WF2 har mycket mer koma vilket ger en osymmetrisk suddighet alltså PSFa. WF3 har minst optiska fel och domineras av sfärisk aberration vilket ska ge en liten och symmetrisk punktspridningsfunktion dvs den bästa, PSFc.

9. Vanliga förklaringar till nattmyopi är: 1) När det är mörkt fungerar ackommodationsförmågan sämre och kommer då att gå till en viss ackommodations tonus så att ögats brytkraft blir starkare än helt oackommoderat läge. 2) I mörker använder vi stavarna mer och dessa är mer känsliga för blått ljus, som ger ett mer myopt synfel pga longitudinell kromatisk aberration. 3) Ögats positiva sfäriska aberration ger en mer myop refraktion när pupillen blir stor i mörkret. Natthyperopi skulle innebära att ögat istället blir mer hyperopt när det blir mörkt, detta skulle kunna orsakas av negativ sfärisk aberration, d.v.s. att strålarna i kanten av pupillen bryts mindre än i mitten så att ögat är mer hyperopt i pupillkanten, motsvarande förklaring 3) för nattmyopi. Anledningen till att natthyperopi inte är ett problem är dels att det inte är så vanligt med negativ sfärisk aberration och dels att det går att kompensera genom att ackommodera. (Förklaring 1 skulle kunna orsaka natthyperopi för en hyperop som i ljus kompenserar för sitt synfel genom att ackommodera. Förklaring 2 kan inte orsaka natthyperopi eftersom ögat alltid bryter blått starkare.)

10.  $SM = 1 / \{ (1 - aF'_v) (1 - (t/n)F_I) \}$ , om  $F'_v = 0$  D måste det alltså vara formfaktorn som ger förstoringen:  $1 / (1 - (t/n)F_I) = 1,02$ . Om linsen har  $t = 6$  mm och  $n = 1,523$  så ger den  $SM = 1,02$  när styrkan på främre ytan är  $F_I = +4,98$  D  $\approx +5$  D (vilket tas ut av linsens bakre yta så att bakre snittvidden fortfarande är 0 D).

11. Ögats ackommodationsområde är i HS180:  $M_R K_{180} = -3,00$  D och  $M_P B_{180} = -7,00$  D alltså mellan  $-0,333$  m och  $-0,143$  m för stående linjer, i HS90:  $M_R K_{90} = -3,50$  D och  $M_P B_{90} = -7,50$  D alltså mellan  $-0,286$  m och  $-0,133$  m för liggande linjer. Uppgiften kan lösas på flera sätt: 1) som i uppgift 4 genom att varje objekt avbildas genom glasögonen och jämförs med ögats ack-område, 2) genom att använda att  $-4,00$  D på  $v_d = 14$  mm motsvarar  $-3,79$  D vid ögat och gör att ögat tillsammans med korrektionen blir lite hyperopt, eller 3) att det yttre ackommodationsområdet tas fram och jämförs med objektets läge. Yttre ackommodationsområde:  $M_{RM}$  och  $M_{PM}$  är objektspunkterna för glasögat som ger mellanbild i  $M_R$  och  $M_P$ . HS180: fjärrpunkt  $l'_G = -(0,333$  m  $-0,014$  m) och  $F_G = -4,00$  D ger  $L_G = L'_G - F_G = 0,865$  D och  $l_G =$  läge på  $M_{RM180} = +1,16$  m, närrpunkt  $l'_G = -(0,143$  m  $-0,014$  m) och  $F_G = -4,00$  D ger  $L_G = L'_G - F_G = -3,75$  D och  $l_G =$  läge på  $M_{PM180} = -0,27$  m. På samma sätt i HS90 ger läge på  $M_{RM90} = +3,13$  m och  $M_{PM90} = -0,23$  m. Man kan då se att a) och c) ligger inom  $M_{RM90}$  och  $M_{PM90}$  medan e) ligger utanför och att b) ligger inom  $M_{RM180}$  och  $M_{PM180}$  medan d) och f) ligger utanför. Personen kan alltså se a), b) och c) skarpt.

12. Figuren visar hur visus varierar med pupillens diameter. Den streckade linjen är det teoretiska visus baserat på att ögat är diffraktionsbegränsat och att upplösningsförmågan följer Rayleigh's upplösningskriteriet. Den heldragna linjen är det verkliga uppmätta visus hos ett antal personer vid olika pupillstorlek. De två linjerna är lika för små pupiller eftersom ögat då är diffraktionsbegränsat, men skiljer sig ifrån varandra för större pupiller eftersom suddigheten på grund av aberrationer ökar snabbt med när pupillen ökar (sfärisk aberration ökar t.ex. som pupillen<sup>3</sup>).