Fysikalisk optik

Facit

Dispersion och prismaeffekt

1) Med formeln för tunn lins kan vi räkna ut det till följande: blå, F=3,923 D och f'=25,49 cm; gul, F=3,878 D och f'=25,79 cm; röd, F=3,855 D och f'=25,94 cm.

2) Dispersion. $v_d = (n_d - 1)\alpha = 2{,}1°$. $\frac{v_F - v_C}{v_d} = \frac{1}{V_d}$ ger $v_F - v_C = 0{,}032° = 1{,}9'$.

3) På himlen infaller vitt ljus. Ljus med lång våglängd (rött) går rakt genom himlen, medans det blåa ljus sprids av Rayleigh-spridning. Mycket mer blått sprids på detta sätt, eftersom Rayleigh-spridning beror på inversen av våglängden upphöjt till fyra. Därför ser vi, när vi tittar på himlen nedanifrån, mer spritt blått än rött ljus. Mot blått glas och blått papper infaller vitt ljus, där de röda delarna absorberas i högre utsträckning än de blå. Alltså transmitteras (för glas) eller reflekteras (för papper) en högre andel blått, och de ser blåa ut.

4) Vi vill beräkna Abbetalet V_d enligt
$$V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$$
där n_d, n_F och n_C ska avläsas vid respektive våglängder grön/gul $\lambda_d = 587.56$ nm, blå $\lambda_F = 486.14$ nm och röd $\lambda_C = 656.27$ nm. Avläsning ur figuren ger $n_d = 1.728$, $n_F = 1.744$ och $n_C = 1.719$. De avlästa värdena kan variera en del, beroende på hur du läst av. (När jag själv gjorde en andra avläsning, fick jag t.ex. $n_d = 1.727$, $n_F = 1.745$ och $n_C = 1.720$) Det viktiga är att du läst av vid rätt våglängder, och att du läst av så noga du kan. (T.ex. är 1.73, 1.74 och 1.72 inte tillräckligt noga.) Då blir Abbetalet 29. Styrkan vid varje våglängd beräknas enligt
$$F = (n - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$
där $r_1 = 0.050$ m och r_2 är oändlig (dvs $1/r_2 = 0$). Styrkorna för de olika färgerna blir då blir då $F_d = 14.6$ D, $F_F = 14.9$ D respektive $F_C = 14.4$ D, vilket ger fokallängderna $f_d = 68.7$ mm, $f_F = 67.2$ mm respektive $f_C = 69.5$ mm för gult/grönt, blått respektive rött ljus.

5) Dispersion! De angivna våglängderna är λ_F, λ_d och λ_C. Deviationsvinkeln i tunt prisma ges av $v = (n - 1)a$, där a är toppvinkeln. (Vi kan använda grader eller radianer, så länge v och a har samma enhet. Lättaste valet just nu är grader!) Då får vi fram $n_F = 1.522$, $n_d = 1.517$, och $n_C = 1.514$. Bara genom att jämföra n_d med värdena i tabellen, ser vi att glaset måste vara antingen PK50, BK7, eller K3. Om vi sedan räknar ut Abbetalet
$$V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} = 64$$
och jämför med tabellen, ser vi att glaset måste vara BK7. (Obs! Om man avrundat på vägen är det inte säkert att siffrorna stämmer exakt, men BK7 blir ändå det som ligger närmast. Ni minns från laborationen hur pyttesmå felmätningar av vinkeln kan ge ganska stora skillnader i V_d. Samma sak om man räknat åt andra hållet, och t.ex. tagit fram deviationsvinkeln vid λ_d för de olika materialen. Då stämmer inte siffrorna exakt, men BK7 är det närmaste.)

Fotometri

6) Belysningen på golvet ges av flödet som träffar golvet/golvets area. Det ger att det totalt behövs $\Phi_v = 300 \cdot 3,4 \cdot 6,0 = 6120 \text{ lm}$. Det motsvarar 21 spotlights. (Det är bättre med lysrör!).

7) För en diffus yta gäller $\Phi_v(\text{från duken}) = \pi L_v A$, där A är filmdukens area. Detta ger $\Phi_v(\text{från duken}) = 44000 \text{ lm}$. 90% av flödet mot duken reflekteras: $\Phi_v(\text{mot duken}) = 48000 \text{ lm}$.

8) Belysningen på marken ges av $E_v = \frac{I_v(\alpha)\cdot\cos(i)}{r^2}$, där i är infallsvinkeln mot marken och r är avståndet från lampan. Ljuskällan är isotrop så I_v är oberoende av α. Från belysningen rakt under lampan får vi att $I_v = 750 \text{ cd}$. Tio meter bort får vi $r = \sqrt{10^2 + 5^2} = 11,2 \text{ m}$ och $i = \arctan(10/5) = 63,4°$. Detta ger belysningen 2,7 lux.

9) Belysningen ges av $E_v = \frac{I_v \cos(i)}{r^2}$, där $I_v = \Phi_v / \Omega$ är ficklampans ljusstyrka, i är infallsvinkeln mot väggen som vi antar är 0°, r=5 m och $\Phi_v = 200 \text{ lm}$. Rymdvinkeln ges av $\Omega = 2\pi(1 - \cos(6°)) = 34,4 \text{ msr}$, vilket ger E_v=230 lux.

10) 80% av flödet mot pappret, dvs. $\Phi_v = 32 \text{ lm}$, reflekteras. För en diffus yta gäller $\Phi_v = \pi L_v A$, där A är papprets area. Detta ger $L_v = 163 \text{ cd/m}^2$.

11) Om 800 lumen träffar en yta som är 1,2 m x 1,8 m = 2,16 m² blir belysningen 400 lux.

    Luminansen ges då av $L_v = \frac{R_{diffus} E_v}{\pi} = \frac{0{,}85 \cdot 400 \text{lux}}{\pi} = 100 \text{cd/m}^2$

12) Flödet är i bägge fallen detsamma:

$$I_v \equiv \frac{\Phi_v}{\Omega} \Rightarrow I_{v,2} = \frac{\Omega_1}{\Omega_2} I_{v,1} = \frac{\pi u_1^2}{\pi u_2^2} I_{v,1} = 85000 \text{ cd}$$

13) Belysningen är direkt prop mot ljusstyrkan (om alla avstånd är lika). I det ena fallet är ljusstyrkan given och i det andra är den 110 lumen/2π ster=17.5cd.

14) Luminansen hos bordsytan är direkt proportionell mot belysningen. Om avståndet mellan källa och bord ökas en faktor 1.5 kommer belysningen att minska en faktor 1.5^2=2.25. Luminansen blir alltså 60cd/m²/2.25=26,7cd/m²

15) Källans halva toppvinkel θ=7°, rymdvinkel $\Omega = 2\pi(1-\cos\theta) = 0.047$ sr, yta $A = \pi r^2 = 0.018\text{m}^2$ samt totalt flöde i rymdvinkeln $(\Phi_v)_\Omega = 170 \cdot 0.1 = 17\text{lm}$. Detta ger $I_v = (\Phi_v)_\Omega / \Omega = 360\text{cd}$ och $L_v = I_v / A = 20500\text{cd/m}^2$.

16) För att månfararen skall kunna se att ytan är upplyst måste belysningen vara tillräckligt stor. Belysningen på månytan ges av $E = I/d^2$, där *I* är ljusstyrkan hos källan och *d* är avståndet till månen. Alltså behövs en hög ljusstyrka.

17) 600 lm är flödet från ficklampan. 10,000 cd är ljusstyrkan, dvs ljusflödet per rymdvinkel. Vad man behöver göra är alltså att mäta upp den rymdvinkel som ficklampan med 600 lm sprider ljuset i. Exempelvis genom att mäta diametern D på ljusfläcken när man lyser på en vägg på avståndet *L* från ficklampan. Ljusstrålens halva öppningsvinkel θ ges då av $\tan\theta = D/2L$. Rymdvinkeln får man sedan ur $\Omega = 2\pi(1-\cos\theta)$ och ljusstyrkan blir 600 lm/Ω. Exempel: *D*=1m, *L*=4m ger Ω=0.0485 sr och 600 lm/Ω ≈ 12,000 cd.

18) Vi vet att belysningen, då glödlampan används, ges av

$$E_v = \frac{I_v}{r^2}\cos i \ .$$

Det betyder att belysningen bestäms av ljusstyrkan. Hur ljus lampan ser ut att vara avgörs däremot av lampans luminans. Luminans och ljusstyrka kopplas samman enligt

$$L_v = \frac{I_v}{\pi r^2}$$

där r är lampans radie. Man kan tänka sig en liten lampa, som har väldigt hög luminans, och alltså ser väldigt ljus ut när man tittar på den. Men det kan ändå finnas en större lampa, som har lägre luminans, men som ändå har högre ljusstyrka och som alltså ger större belysning. Så svaret är att nej, den lampa som ser ljusast ut, ger inte nödvändigtvis högst belysning. Man måste väga in lampornas storlek också. (Om lamporna är lika stora, kommer dock den som ser ljusast ut cksä att ge högst belysning.)

19) Flödet in genom IP bevaras och kommer ut genom UP. Diametern på UP är 7 ggr mindre än IP och således är arean 49 gånger mindre. Det gör att belysningen ökar med faktorn 49 ggr.

20) Hur ljust något *ser ut* beror på luminansen. Skärm 2 ser alltså 500/420=1,2 ggr ljusare ut.

21) Belysningen ges av $E_v = \frac{I_v(\theta)\cos(i)}{r^2}$, där $I_v(\theta) = L_v A\cos(\theta)$ är skärmens ljusstyrka i riktningen θ, *A* är skärmens area, L_v är skärmens luminans, *i* (= θ) är infallsvinkeln mot bordet och *r* är avståndet till bordet. Enkel geometri och uträkning ger E_v=2,9 lux, 2,7 lux, 2,1 lux, 1,6 lux, 1,1 lux samt 0,7 lux i de olika punkterna.

Vågbegrepp

22) Ljusets hastighet ges av

$$c = \lambda\nu$$

vilket ger frekvensen som

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \cdot 10^{8}}{532 \cdot 10^{-9}}\,\text{s}^{-1} = 5.6 \cdot 10^{-14}\ \text{s}^{-1}.$$

Det betyder att ljusvågen hinner svänga $5.6 \cdot 10^{-14}$ gånger per sekund, dvs att $5.6 \cdot 10^{-14}$ vågtoppar per sekund kommer fram till detektorn. På en halv sekund blir det hälften av detta, alltså $2.8 \cdot 10^{-14}$ vågtoppar som når detektorn.

23) a) Med linjal kan man mäta ur figuren (t.ex. övre delen) att våglängden är 4.0 cm och amplituden är 0.9 cm.
b) På 3 sekunder har vågen flyttat sig 2.7 cm. Detta motsvarar 2.7/4.0=67.5% av en våglängd. Alltså är 3 sekunder 67.5% av en period T, dvs 0.675T=3 s. Då är perioden T=3/0.675=4.4 s. Hastigheten kan man räkna ut som färdad sträcka delat med tiden, dvs antingen som 2.7/3 = 0.9 cm/s, eller som 4.0/4.4 = 0.9 cm/s.

24) Perioden är redan given till 7 sekunder. Det går mellan 4 och 6 våglängder på 100 m, beroende på exakt hur vågtopparna ligger. Jag väljer att räkna med 5 (men 4-6 är alltså OK). Då blir våglängden 100/5=20 m. Våghastigheten ges av $c = \frac{\lambda}{T} = \frac{20}{7} = 3$ s. Dubbla amplituden är från strax över knäna upp till halsen på en vuxen vänniska, vilket motsvarar ungefär hälften av en människas längd, alltså kring en meter. Amplituden blir hälften av detta, alltså kring en halvmeter. (Alla värden som är någorlunda rimliga ger full poäng.)

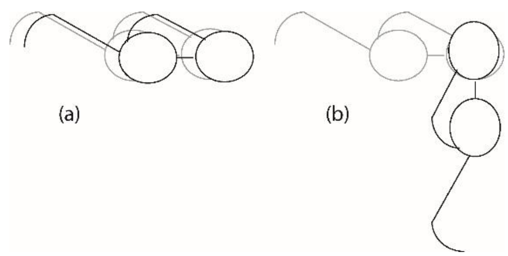
Polarisation

25) Brewstervinkel! Ljus polariserat i infallsplanet reflekteras inte. $\tan(62°) = \frac{n_{glas}}{1}$ ger n_{glas}=1,9.

26) Genom första filtret kommer 50 % av solljuset igenom och blir då polariserat: $I_1 = I_0 \cdot 0,5$. Transmissionen genom det följande filtret ges av Malus lag: $I_2 = I_1 \cos^2(\theta)$, där θ är vinkeln mellan filtrens genomsläppsriktningar. $I_2 / I_0 = 0,25$ ger $\theta = 45°$.

27) Eftersom Lisa ligger på sidan är även glasögonen vridna så att de släpper igenom den vågräta polarisationen istället för att släcka ut den. Det reflekterade ljuset ligger nära Brewstervinkel vid reflektion mot vattenytan och blir därför starkt vågrätt polariserat (vinkelrätt mot infallsplanet). Därmed släpper Lisas glasögon igenom det reflekterade ljus de är tänkta att ta bort.

28) .Tag två par solglasögon. Om du håller dem rakt framför varandra enligt figure (a), borde en del ljus komma igenom eftersom polarisationsfiltren ligger parallellt med varandra. Om du däremot vrider ena paret 90 grader som i figur (b), borde inget ljus komma igenom eftersom du får två korsade polaroidfilter. Om det ändå kommer igenom ljus, vet du att glasögonen inte är polariserande, utan bara gjorda av mörk plast.



29) Genom första filtret kommer $I_0 / 2$, där I_0 är infallande intensitet. Malus-lag ger $I_0 / 2 \cdot \cos^2(45°) = I_0 / 4$ efter filter nr 2. Malus-lag ger $I_0 / 4 \cdot \cos^2(45°) = I_0 / 8$ efter filter nr 3.

30) Om ljuset faller in med en vinkel i närheten av Brewster-vinkel, kommer det att bli polariserat eftersom bara det vinkelrätt polariserade ljuset reflekteras. Men eftersom ytan det reflekteras mot är vertikal, kommer det vinkelrätt polariserade ljuset att svänga i vertikalplanet. Och polariserande glasögon är gjorda för att släppa igenom vertikalt polariserat ljus, så reflexerna går rakt igenom. Om ljuset faller in med en vinkel långt ifrån Brewster-vinkel, blir det inte polariserat och glasögonen fungerar ändå inte. (Hade ytan varit horisontell, t.ex. en vattenyta, hade glasögonen tagit bort reflexen om vinkeln var nära Brewster-vinkel.) Rita figur!

31) Det finns minst två sätt att lösa uppgiften - det allra bästa är förståss att använda båda, och kontrollera resultaten mot varandra.
a) Titta på reflektansen vid vinkelr\"{a}tt infall. Vi vet att den ska vara

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$$

och kan utläsa ur diagrammet att $R \approx 0.06$. Om vi drar roten ur båda led i ekvationen får vi

$$\pm\sqrt{R} = \frac{n-1}{n+1}$$

och eftersom vi vet att $n > 1$ och därmed att $n - 1 > 0$ kan vi utesluta minustecknet. Sedan löser vi ekvationen och får

$$n = \frac{1+\sqrt{R}}{1-\sqrt{R}} \approx 1.65\ .$$

b) Man kan också titta på Brewstervinkeln, som verkar infalla vid $i \approx 58°$. Brytningsindex ges av $n = \tan i \approx 1.60$. Totalt ser vi att värdena kan variera en hel del beroende på exakt hur vi avläser diagrammet (t.ex. kunde vi ha avläst $i = 57°$ eller $i = 59°$) men brytningsindex verkar ligga kring 1.6.

Antireflexbehandling

32) Det är givet att ytan är ett antireflexskikt, dvs att det är destruktiv interferens. Då behöver vi inte veta tjockleken, för reflektansen vid destruktiv interferens ges alltid av $R_{\min} = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} = 0,003$, där $R_1 = (n_f - 1)^2/(n_f + 1)^2 = 0,0255$ och $R_2 = (n_g - n_f)^2/(n_g + n_f)^2 = 0,0108$. Svar: 0,3%.

33) Antireflexskiktet bygger på att man får två reflexer som är ungefär lika starka, och som alltså kan släcka ut varandra (destruktiv interferens). Totala reflektansen ges ju av

$$R_{tot} = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} = \left(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}\right)^2,$$

så ju mer lika R_1 och R_2 är, desto mindre blir den totala reflektansen. En enkel lösning är att använda uteslutningsmetoden: n=1,35 ger nästan ingen reflex mellan vatten och AR-skikt, n=1,70 ger nästan ingen reflex mellan AR-skikt och substrat. n=1,91 ger alldeles för stark reflex mellan vatten och AR-skikt. Alltså: n=1,51.

Om man föredrar en annan lösning, kan man helt enkelt räkna ut R_1, R_2 och R_{tot} för de olika materialen. Detta innebär dock betydligt mer beräkningar! Tabellen nedan visar värdena, och bekräftar att skliktet ska ha brytningsindex 1.51.

n_0	n_f	n_g	R_1	R_2	R_{tot}
1,33	1,35	1,71	5,57E-05	0,013841	0,012141
1,33	1,51	1,71	0,004017	0,003858	1,61E-06
1,33	1,7	1,71	0,014911	8,6E-06	0,014204
1,33	1,91	1,71	0,032045	0,003052	0,015317

34) Skiktet ska vara antireflex för $\lambda_{IR} = 1064$ nm, dvs dess tjocklek ges av

$$d = \frac{\lambda_{IR}}{4n_f}.$$

För den synliga våglängden ska skitet reflektera maximalt, dvs villkoret

$$2n_f d = m\lambda_s,$$

där m är ordningen, ska vara uppfyllt. Om vi löser ut våglängden får vi

$$d = \frac{m\lambda_s}{2n_f}.$$

Eftersom skiktets tjocklek inte ändras, måste de två uttrycken för tjockleken vara lika, dvs

$$\frac{m\lambda_s}{2n_f} = \frac{\lambda_{IR}}{4n_f},$$

eller, om vi löser ut våglängden,

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{IR}}{2m}.$$

För $m = 1$ får vi våglängden till 532 nm, och för m=2 till 266 nm, vilket dock ligger utanför synlöiga spektrat. Alltså är 532 nm den enda synliga våglängden för vilken skiktet ger maximal reflektans.

35) Dena uppgift går att lösa på flera sätt. Ett sätt är ett kvalitativt resonemang: För att reflexerna ska kunna släcka ut varandra ska reflexen från ytan: glas 1 mot skiktet, och reflexen från ytan: skiktet mot glas 2, vara ungefär lika (samma resonemang som uppg. 30). För att detta ska uppnås måste brytningsindex i skiktet ligga mellan de bägge omgivande index. Detta är egentligen bara uppfyllt för 1,80.

En andra lösning är att räkna ut R_1, R_2 och R_{tot} för de olika materialen. Detta innebär dock betydligt mer beräkningar! Tabellen nedan visar värdena, och bekräftar att skliktet ska ha brytningsindex 1.

n_0	n_f	n_g	R_1	R_2	R_{tot}
1,46	1,38	2,21	0,000793	0,053452	0,041221
1,46	1,8	2,21	0,010877	0,010454	4,2E-06
1,46	2,09	2,21	0,031494	0,000779	0,022368
1,46	2,44	2,21	0,063143	0,002447	0,040731

(En tredje lösning ligger lite utanför kursen. Det går att visa att lägst reflektans fås för ett skikt som uppfyller $\sqrt{n_0 n_g} = n_f$. Det stämmer precis med 1.80, men den uträkningen behöver ni inte ha med.)

36) $R_1 = \left(\frac{2,24-1}{2,24+1}\right)^2 = 0,146 \quad R_2 = \left(\frac{1,50-2,24}{1,50+2,24}\right)^2 = 0,039$

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} = 0,34$$

37) Skiktet är tunnare-tätare-ännu tätare, vilket ger minimal reflektans då

$$2n_f d = \frac{\lambda}{2} + m\lambda,$$

dvs då

$$\lambda = \frac{4n_f d}{2m+1}$$

där m är ordningen. Använder vi $m = 0$ får vi våglängden till 530 nm. Använder vi $m = 1$ får vi våglängden till 180 nm. Detta ligger utanför synliga spektrat, och ökar vi ordningen ytterligagre, blir våglängden bara kortare. Alltså är 530 nm den enda våglängd i det synliga området, för vilken skiktet ger minimal reflektans.

38) Interferens i tunt skikt av typen tunnare-tätare-tunnare. Ljus rand betyder att tjockleken just där ger konstruktiv interferens för laservåglängden. Mellan två ljusa ränder har ordningen m ändrats ett steg. Konstruktiv interferens för denna sorts skikt får man då

$$2n_f d = \frac{\lambda}{2} + m\lambda.$$

dvs då ordningen

$$m = \frac{2n_f d}{\lambda} - \frac{1}{2}$$

är ett heltal. I ena änden är $d = 4$ μm vilket ger ordningen $m = 18{,}4$. I andra änden är $d =$

4,5 µm vilket ger ordningen m=20,8. Ljusa ränder uppstår då m är ett heltal, i detta fall då $m = 19$ och $m = 20$. Man ser alltså 2 ljusa ränder.

39) Låt R_1 vara reflektansen i gränsytan mellan luft och Hafn... och R_2 reflektansen mellan Hafn.. och glas. Då blir

$$R_1 = \left(\frac{2.8-1}{2.8+1}\right)^2 = 0.224 \; och \; R_2 = \left(\frac{2.8-1.5}{2.8+1.5}\right)^2 = 0.091$$

Vi får då vid konstruktiv interferens

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} = 0.60$$

40) Det reflekterade ljuset har interferensmaximum då $2nd = m\lambda$ och interferensminimum då $2nd = (2m+1)\lambda$ (m heltal $\geq$ 0). Detta ger att följande våglängder har maximal reflektans: $\lambda_{\max} = 2nd/m = \infty, 1173\text{nm}, 586.5\text{nm}, 391\text{nm}$ etc. Minimal reflektans: $\lambda_{\min} = 4nd/(2m+1) = 2346\text{ nm}, 782\text{ nm}, 469\text{ nm}, 335\text{ nm}$ etc. Inom det synliga området finns *ett* maximum vid 586.5 nm, vilket motsvarar gult.

41) a) Glaset har brytningsindex 1.6, så det ideala materialet för skiktet skulle ha brytningsindex $\sqrt{1.6} = 1.26$. Inget av materialen stämmer alltså perfekt, men MgF_2 ligger närmast med ett brytningsindex på 1.38. Alltså kommer MgF_2 att ge den lägsta reflektansen, så skikt B måste vara för MgF_2. Man kan också se att skikt A har sitt minimum för en längre våglängd, vilket stämmer med att skikt A har högre brytningsindex. b) Det är tunnare-tätare-ännu tätare, så första min ges av

$$d = \frac{\lambda}{4n_f}\,.$$

Ur grafen kan vi utläsa att skikt B har sitt minimum vid våglängden 550 nm och att $n_f = 1.38$, vilket ger skiktets tjocklek 100 nm. Vi vet att båda skikten ska ha samma tjocklek, så vi kan kontrollera genom att räkna på skikt A. Då är minimum vid 580 nm och $n_f = 1.45$, så tjockleken blir 100 nm. Båda skikten fick samma tjocklek, precis som de skulle ha. Svaret är därmed bekräftat. (Värdena kan dock variera en del beroende på hur våglängden lästs av.)

Diffraktion och upplösning

42) Diffraktion i hålet! Minsta upplösta objektstorlek, eller avståndet från mitten till första min, ges av $h_{\min} = \frac{1,22\lambda l}{b} = 4,7\ \text{mm}$, där *b* i detta fall är 1 mm, $l = (-)7,0\ \text{m}$ och vi valt λ=555 nm. I figuren ser man dock att avståndet mellan punkterna motsvarar två gånger detta avstånd, dvs. 9.4 mm.

43) Diffraktion! Minsta upplösta vinkel för ögat ges av $w = \frac{1,22\lambda}{b} = 1,4\ \text{mrad}$, där *b* i detta fall är 0,5 mm och vi valt λ=555 nm. *h*=1,2 m ger $l = h / w = 900\ \text{m}$.

44) Diffraktion i objektivlinsen! Minsta upplösta objektstorlek ges av $h_{\min} = \frac{1,22\lambda l}{b} = 3,6\ \text{km}$, där *b* i detta fall är 70 mm, $l = (-)380000\ \text{km}$ och vi valt λ=555 nm.

45) Punkterna är separerade h = 320 mm / 1280 = 0,25 mm

Om vi använder Rayliegh's upplösningkriterium ska punkterna vara separerade en vinkel

$$u = \frac{1,22\lambda}{D} \Rightarrow |l| = \frac{h}{u} = \frac{hD}{1,22\lambda} = 56\,\text{cm}$$

46) Diffraktion. Minsta upplösta avstånd i bildplanet ges av $h'_{\min} = \frac{1,22\lambda l'}{n'b} = 4\ \mu\text{m}$. Reducerad ögonmodell och våglängden λ=555 nm ger *b*=2,8 mm.

47) Diffraktion, bildstorleken ges av diametern i airy-disken. Radien i airy-disken ges av formeln $y' = \frac{0,61\lambda}{NA'}$ som gäller i alla optiska system. $NA' = n'\sin(u')$. Mätning i figuren ger u'=14° och 2*y*'=2,8 µm.

48) Gränsen för hur bra det går att se beror på diffraktionen. Minsta upplösta vinkel (sett från örnögat) är $\alpha = \frac{1.22\lambda}{D} \Rightarrow x_{mus} = \alpha h = \frac{1.22\lambda h}{D} \approx \frac{1.22 \cdot 5 \cdot 10^{-7}\, m \cdot 400m}{0.01m} = 2.4cm$ Dvs några cm.

49) Om vi inte kan se de individuella punkterna måste detta bero på ögats begränsade upplösningsförmåga. Om vi antar att ögats pupill är *b*=3mm blir minsta upplösta synvinkel $w = \frac{1.22\lambda}{b} = 0.22\text{mrad}$. För att synvinkeln mellan två punkter (avstånd *h*=0.42m/625) skall bli mindre än denna vinkel krävs att avståndet till TV'n är något större än *d*=*h*/*w*=3m. (andra pupilldiametrar ger andra svar)

50) Upplösningen måste i detta fall begränsas av diffraktionen i ögats pupill. Med ögat som en enkel sfärisk gränsyta med diametern b=2mm, får vi minsta upplösta synvinkel (utanför ögat) som $\sin w = \frac{1.22\lambda}{b}$. Med λ=550nm ger det w=0.33 mrad. För att objektstorleken h=0.01mm skall uppta synvinkeln w efter luppen måste luppens fokallängd vara $f' = h / \tan w = 30\text{mm}$. Alltså F_{lupp}=+33D.

51) När bländartalet minskar till hälften ökar systemets aperturstopp, inträdespupill och utträdespupill och alla andra diametrar på strålknippet till dubbel storlek. (a) Bildstorleken ges av diffraktionen. Radien i fläcken ges av $y' = \frac{1.22\lambda f'}{b}$, där b är diametern på strålknippet vid bakre huvudplanet. Ökar b till det dubbla minskar fläckens radie till hälften. Arean av bilden minskar alltså med en faktor 4.(b) Ljusflödet in i objektivet är direkt proportionell mot arean av inträdespupillen. f/5.5 ger alltså 4 ggr större ljusflöde till bilden(flödet bevaras genom systemet). (c) Belysning = ljusflöde/area ger att belysningen blir 16ggr större.