

Tentamen i Optik FFY091

Måndag 22 augusti 2016, kl. 14:00-18:00

För tentan gäller följande

Jourhavande lärare: Ewa Simpanen, finns på plats ca kl 15:30 och 17, samt Jörgen Bengtsson, telefon 031-772 1591 (efter kl 15:00).

Tillåtna hjälpmedel (kontrolleras av jourhavande lärare):

Beta Mathematics Handbook, Physics Handbook, kursbok i Fourieranalys, 10 valfria utskrivna sidor ur Physics of Light and Optics, föreläsningsanteckningar (även egenhändigt skrivna och kommenterade), HUPP-beskrivningar och egna, rättade, lösningar inklusive Jörgens kommentarer och av honom bifogat material, labb-pm för O2 och O4 med egna anteckningar inklusive bilagor. Typpgodkänd räknare samt linjal.

Rättning: Inrapporterad inom tre veckor från tentamensdatum.

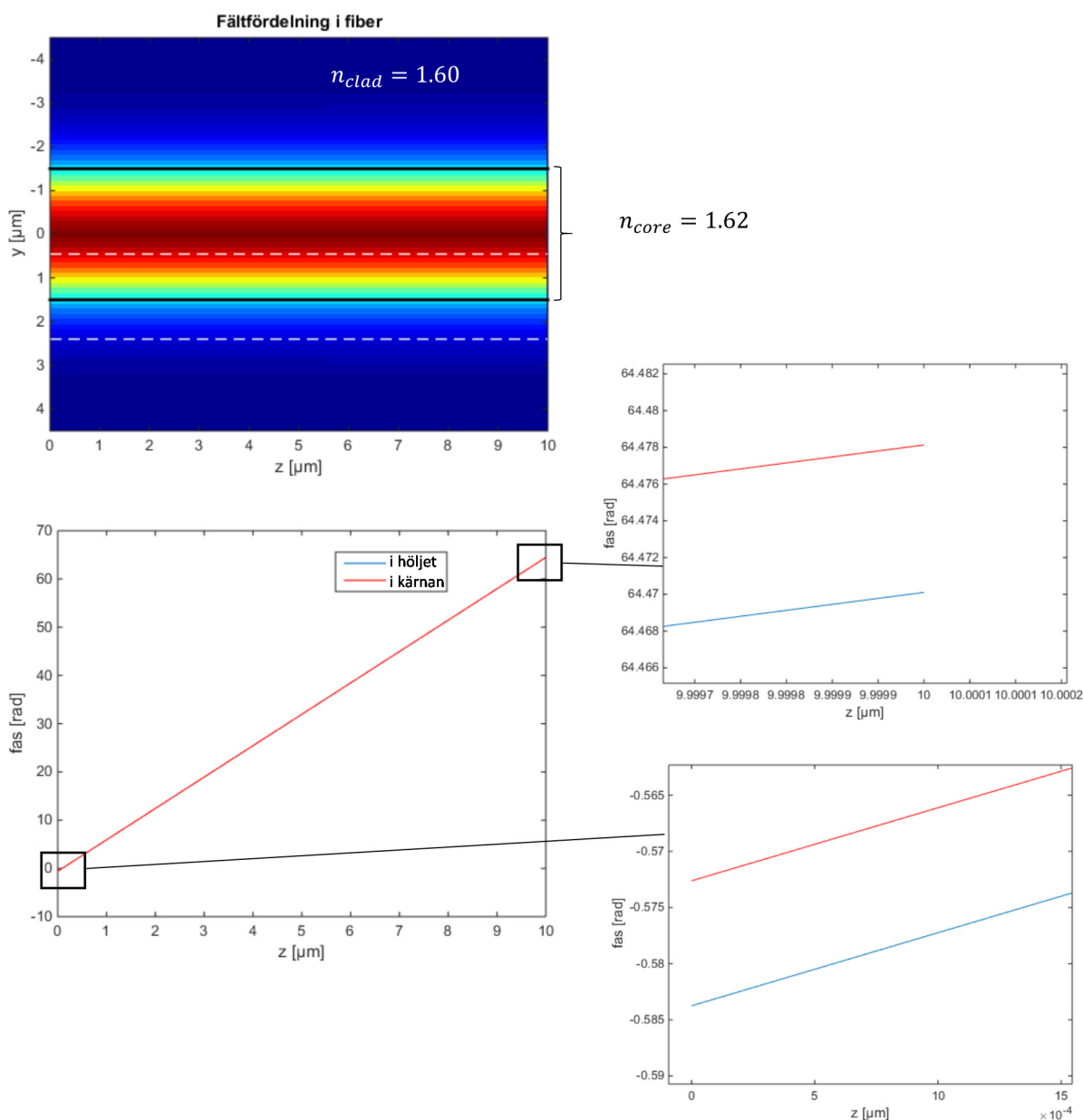
Godkänt: 30p, 40p och 50p av max 60p för betyg 3, 4, resp. 5. Endast bonuspoäng från i år kan användas.

Visning: Efter överenskommelse via e-mail.

Ord på vägen:

- Skriv din kod på alla sidor du lämnar in.
- Motivera dina steg och formulera dig klart (gärna icke-verbalt i form av skisser) – båda dessa aspekter poängbedöms.
- Gör egna rimliga antaganden där det behövs.

1. Optiska fibern



Plottarna visar den simulerade fasen på fältet i en singelmodfiber vid 1550 nm våglängd, som funktion av z längs två olika vägar, en i kärnmaterialet (brytningsindex $n_{core} = 1.62$) och en i höljet (brytningsindex $n_{clad} = 1.60$). De två olika vägarna är vitstreckade i figuren överst. Som man ser verkar kurvorna följas åt nästan perfekt (de har samma lutning), med en nästan konstant separation på cirka 0.01 rad.

(a) Vilket argument använder en person som hävdar att kurvorna borde ha *olika* lutning eftersom ljuset propagerar i kärna respektive hölje, som har olika brytningsindex? Vilka kloka ord säger du till denna person? (2p)

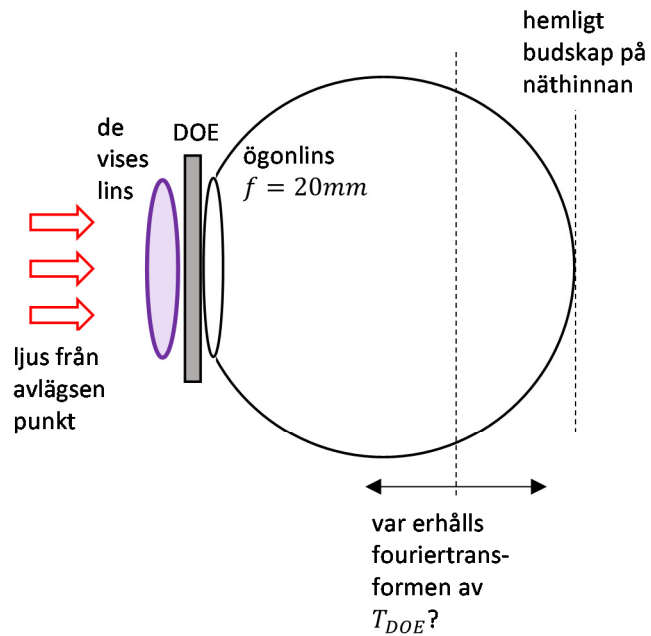
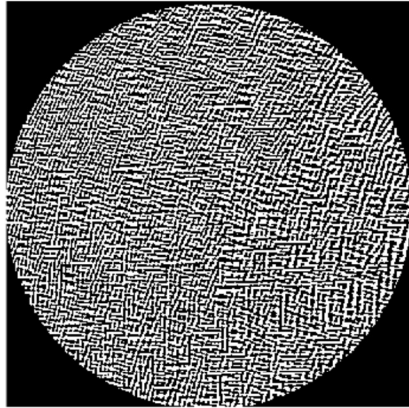
(b) Att kurvorna trots allt inte är exakt lika, utan skiljer på ett konstant värde ~ 0.01 radianer, beror det på numeriska fel eller kan det vara korrekt? (2p)

(c) Vilken viktig parameter hos en singelmodfiber kan man utläsa värdet för ur plottarna? Vad blir dess värde i detta fall? Är det rimligt? (3p)

2. Amplitudmodulerande DOE

En amplitudmodulerande DOE är designad på samma sätt som i HUPP1 för att ge hemligt budskap på näthinnan när de vises lins, med en styrka av $+6\frac{2}{3}$ dioptrier, sätts in, som i figuren nedan.

DOEns transmissionsfunktion T_{DOE}

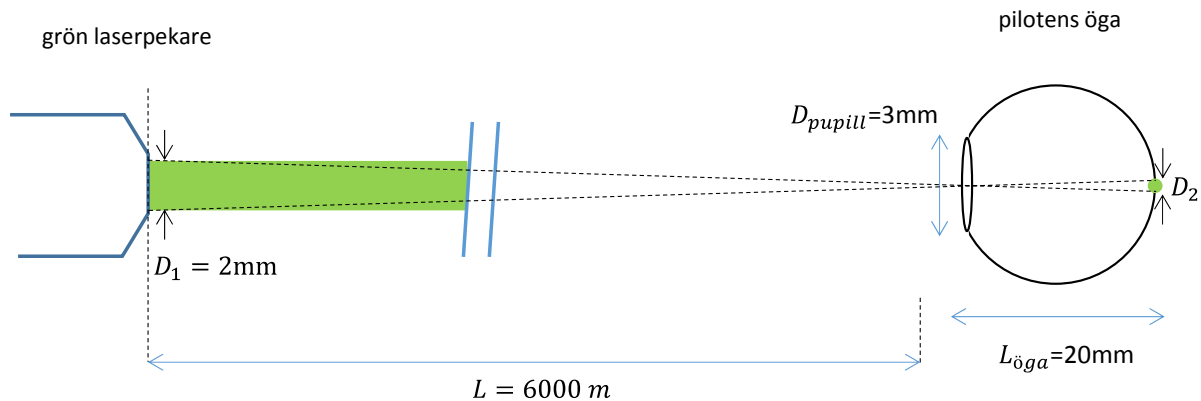


(a) Även med de vises lins insatt finns dock det icke-hemliga budskapet kvar, men det uppstår inte längre på näthinnan. I vilket plan (på vilket avstånd från ögonlinsen) uppstår det icke-hemliga budskapet (d.v.s. fouriertransformen av DOEns transmissionsfunktion) i detta fall? (3p)

Ledning: När flera TOKar sitter ihop spelar ordningsföljden mellan dessa ingen roll.

(b) Nu plockar man bort DOEn, men behåller de vises lins i samma position som i (a). Hur ser nu intensitetsfördelningen ut i det plan vars läge bestämdes i (a)? Inga siffror behöver anges - men motivera huruvida den mest ser ut som en "liten prick" eller en "stor blaffa", och motivera också om den har någon karakteristisk fördelning som t.ex. konstant över cirkulär area, eller (hermite-)gaussisk eller Airy-fördelad? (3p)

3. Vad är felet?



En kursdeltagare skrev ett mail:

Hej Jörgen!

Jag har en fråga angående en övning från optiken. Min fråga gäller övning 1.4(a) där man vill hitta intensiteten från en laser på en pilots näthinna. Jag undrar hur det kommer sig att man inte kan använda den vanliga avbildningsformeln för att hitta storleken av bilden på näthinnan (se bild ovan)? Jag får nämligen inte rätt svar på bildens storlek D_2 när jag använder avbildningsformeln, alltså regeln om att en stråle genom linsens mitt inte bryts, vilket skulle ge

$$\frac{D_1}{L} = \frac{D_2}{L_{öga}} \Rightarrow D_2 = \frac{L_{öga}}{L} D_1$$

Det blir inte alls samma värde som det som anges i facit. Vad gör jag för fel?

Svara den undrande kursdeltagaren – varför kan man inte göra som hen föreslår? (5p)

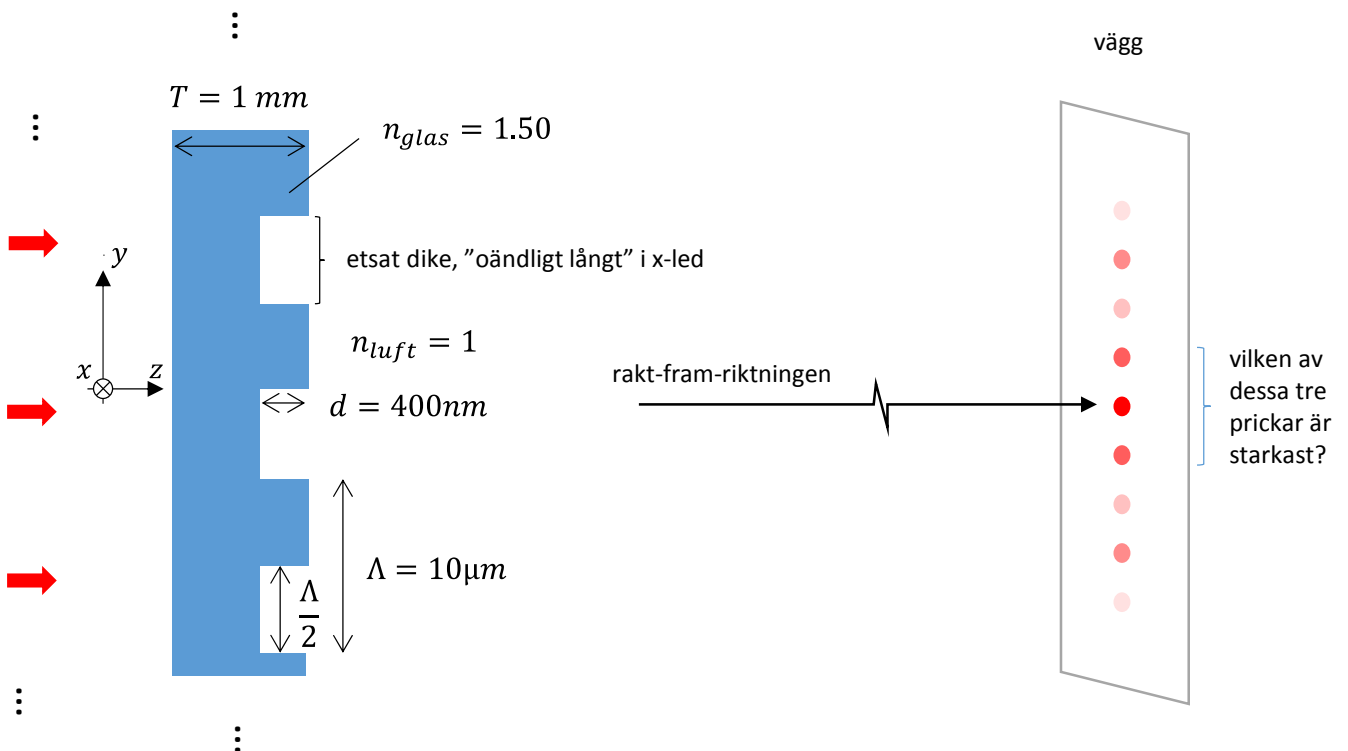
4. Tandläkarspegeln

Designa den lilla tandläkarspegel som sitter på ett skaft som förs in i munnen hos den som undersöks. Kraven är att tandläkaren ska se spegelbilden rättvänd, och att när spegeln hålls 1.5 cm från en tand ska tandläkaren se denna dubbelt så stor som i verkligheten. Rita en skalenlig figur över strålgången där det tydligt framgår att tandläkarens upplevelse uppfyller kravspecifikationen. Du får gärna vika ut strålgången och ersätta spegeln med en lins i din figur. (10p)

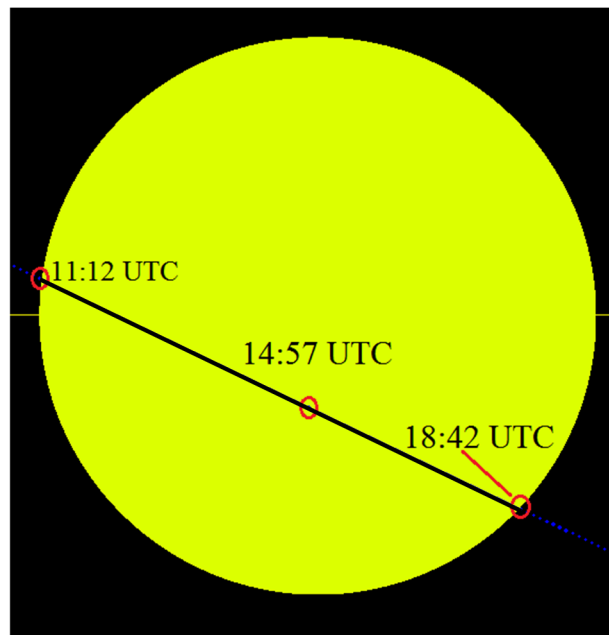


5. Prickar, prickar på väggen där, säg vem som starkast av alla är...

I en plan glasplatta har man etsat ned ett periodiskt mönster (period $\Lambda = 10 \mu\text{m}$) bestående av långa "diken" med ett rektangulärt tvärsnitt, se figur. Man belyser ett stort antal av dessa med en kollimerad, normalt infallande röd laserstråle. Man får då en rad ljusa prickar på en vägg några meter bort. Är pricknen i rakt-fram-riktningen starkare än sina två närmsta grannprickar? (14p)



6. Merkuriuspässagen den 9 maj 2016



Figuren visar Merkurius beräknade bana över solytan, med dess position vid tre olika tidpunkter den 9 maj (Universal Time; addera två timmar för att få svensk sommartid).

”Årets astronomiska händelse” 2016 var merkuriuspässagen framför solen den 9 maj. Inför passagen rapporterade media om hur man skulle kunna observera den. Det påstods då att Merkurius är för liten för att passagen ska vara synlig med blotta ögat, det krävs en kikare. Stämmer uppgifterna i media, går det inte att se en merkuriuspassage med blotta ögat (man måste naturligtvis titta genom mörka glas för att skydda synen)? (12p)

	MERCURY	VENUS	EARTH	MOON	MARS	JUPITER	SATURN	URANUS	NEPTUNE	PLUTO
Mass (10^{24} kg)	0.330	4.87	5.97	0.073	0.642	1898	568	86.8	102	0.0146
Diameter (km)	4879	12 104	12 756	3475	6792	142 984	120 536	51 118	49 528	2370
Density (kg/m^3)	5427	5243	5514	3340	3933	1326	687	1271	1638	2095
Gravity (m/s^2)	3.7	8.9	9.8	1.6	3.7	23.1	9.0	8.7	11.0	0.7
Escape Velocity (km/s)	4.3	10.4	11.2	2.4	5.0	59.5	35.5	21.3	23.5	1.3
Rotation Period (hours)	1407.6	-5832.5	23.9	655.7	24.6	9.9	10.7	-17.2	16.1	-153.3
Length of Day (hours)	4222.6	2802.0	24.0	708.7	24.7	9.9	10.7	17.2	16.1	153.3
Distance from Sun (10^6 km)	57.9	108.2	149.6	0.384*	227.9	778.6	1433.5	2872.5	4495.1	5906.4
Perihelion (10^6 km)	46.0	107.5	147.1	0.363*	206.6	740.5	1352.6	2741.3	4444.5	4436.8
Aphelion (10^6 km)	69.8	108.9	152.1	0.406*	249.2	816.6	1514.5	3003.6	4545.7	7375.9
Orbital Period (days)	88.0	224.7	365.2	27.3	687.0	4331	10,747	30,589	59,800	90,560
Orbital Velocity (km/s)	47.4	35.0	29.8	1.0	24.1	13.1	9.7	6.8	5.4	4.7
Orbital Inclination (degrees)	7.0	3.4	0.0	5.1	1.9	1.3	2.5	0.8	1.8	17.2
Orbital Eccentricity	0.205	0.007	0.017	0.055	0.094	0.049	0.057	0.046	0.011	0.244
Obliquity to Orbit (degrees)	0.01	177.4	23.4	6.7	25.2	3.1	26.7	97.8	28.3	122.5
Mean Temperature (C)	167	464	15	-20	-65	-110	-140	-195	-200	-225
Surface Pressure (bars)	0	92	1	0	0.01	Unknown*	Unknown*	Unknown*	Unknown*	0
Number of Moons	0	0	1	0	2	67	62	27	14	5
Ring System?	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Global Magnetic Field?	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Unknown

7. Hjälp mig (behålla jobbet?)

Peter Apell, prefekt för Institutionen för Teknisk fysik, skickade mig överraskande ett mail från sin New York-semester i somras (vi har aldrig träffats).



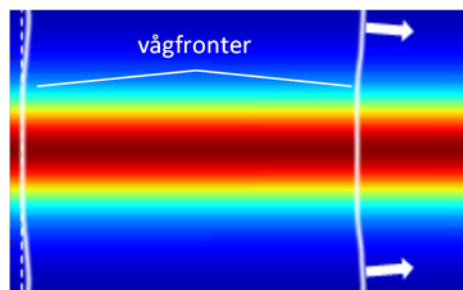
Men jag förstod snabbt att det var ett test på min kompetens. Jag har inte svarat honom än, för jag tänkte du skulle hjälpa mig! Kan du förklara hur horisonten har blivit vertikal genom reflektionen i skulpturen? Ett par snygga skisser krävs förmodligen för att göra Peter nöjd. (6p)

1. Optiska fibern

(a) Ofta approximerar vi en våg med specialfallet en *plan* våg. Så gör vi t.ex. i TOK-modellen. Fasändringen per längdenhet hos fältet är då $k_0 n$ där n är brytningsindex hos materialet i den position vi betraktar propagationen. Hade vi gjort samma approximation i fallet med vågledaren, borde lutningen på de två kurvorna vara en aning olika, eftersom propagationen försiggår i material med olika brytningsindex.

Men den guideade vågen är inte exakt en plan våg. Den "håller ihop" som en helhet under propagationen, och ändrar därför sin fas lika mycket i alla positioner i sitt tvärsnitt när den progagerar. Fasändringen per längdenhet är i detta fall $k_0 n_{eff}$ där det effektiva brytningsindexet n_{eff} beror på det materiella brytningsindexet i vågledare samt fältfördelningen i den "mod" som fältet ställer in sig i. Vi beräknar n_{eff} numeriskt i HUPP 5 för en given vågledare och en given mod.

(b) Eftersom det guideade fältet inte är en plan våg är inte dess vågfronter helt plana:



Fältets fas kan alltså vara lite olika i olika positioner i tvärsnittet, men som vi sade i (a) ändrar den sig alltid lika mycket i z-led (propagationsriktningen). Fasskillnaden på 0.01 radianer kan alltså vara en verklig skillnad.

(c) Parametern är det effektiva indexet n_{eff} för moden i denna vågledare (optiska fiber). Eftersom det är en singelmodfiber är det bara fundamentalmoden som existerar. Ur en av kurvorna utläser vi (kolla de inzoomade områdena i början och slutet av propagationen)

$$\text{fasändring per längdenhet} = \frac{64.478 - (-0.573)\text{rad}}{10\mu\text{m}} = 6.5051 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$$

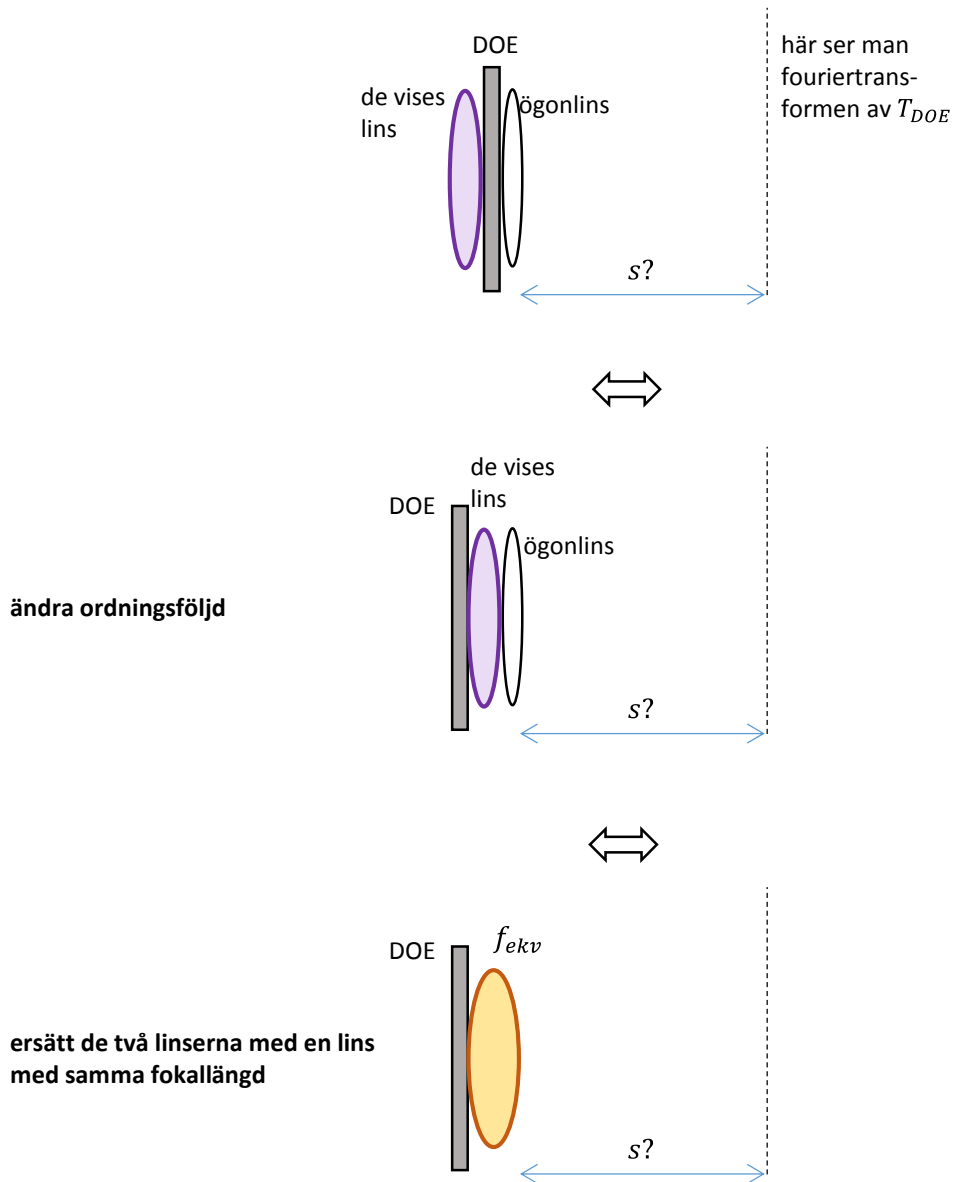
Det löjligt stora antalet värdesiffror i uträkningen är bara motiverat i detta fall eftersom n_{eff} måste anges med många värdesiffror för att vara relevant (vi vet från början att n_{eff} ligger mellan n_{core} och n_{clad}). Vi får

$$\text{fasändring per längdenhet} = k_0 n_{eff} \Rightarrow n_{eff} = \frac{6.5051 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}}{2\pi/1550\text{nm}} = 1.6047$$

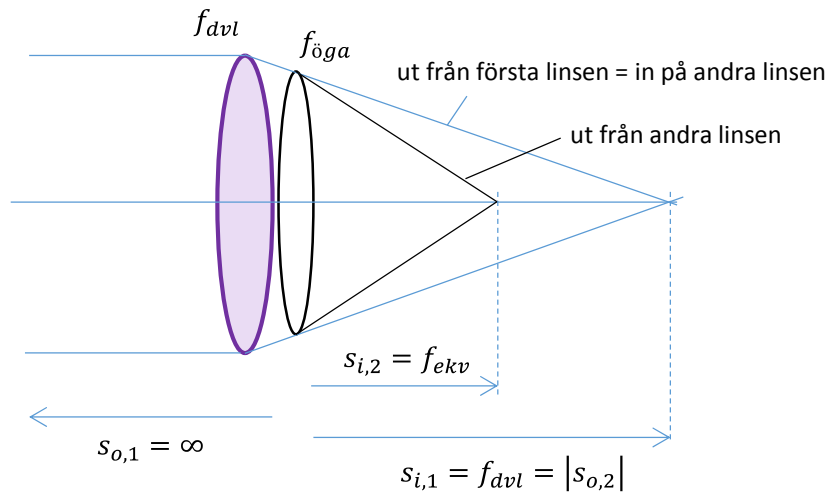
Värdet är inte orimligt eftersom det ligger mellan $n_{core} = 1.62$ och $n_{clad} = 1.60$.

2. Amplitudmodulerande DOE

(a) Fouriertransfomen av DOEns transmissionsfunktion kan erhållas (förutom på långt avstånd från DOEn, utan hjälp av linser) genom att sätta en lins efter DOEn och kolla på fokallängds avstånd, förutsatt att fältet in på DOEn är en plan våg. Som vi ser av skissen nedan ändrar vi först ordningsföljden på TOKarna så att DOEn träffas av den plana vågen. Sedan ersätter vi de två ihopsittande linserna med en enda med samma funktion (d.v.s. samma fokallängd f_{ekv}). Fouriertransfomen erhålls alltså på avståndet $s = f_{ekv}$.



Återstår att bestämma f_{ekv} . Det kan man t.ex. göra med geometrisk optik, genom att betrakta en plan infallande våg (oändligt avlägsen punktkälla) in på de vises lins, som ger ett fokus (i frånvaro av ögonlinsen) på avståndet $s_{,1} = f_{dvl}$.



Det betyder att källan för ljuset in på ögonlinsen är virtuell och $s_{i,2} = -f_{dvl}$. Fokus för ljuset ut från ögonlinsen ges av gauss linslag

$$\frac{1}{f_{\text{öga}}} = \frac{1}{s_{o,2}} + \frac{1}{s_{i,2}} = -\frac{1}{f_{dvl}} + \frac{1}{f_{ekv}} \Rightarrow \frac{1}{f_{ekv}} = \frac{1}{f_{\text{öga}}} + \frac{1}{f_{dvl}} \Rightarrow D_{ekv} = D_{\text{öga}} + D_{dvl}$$

där det sista uttrycket är den behändiga formeln att styrkan (i dioptrier) hos en sammansatt lins är summan av styrkorna hos de enskilda linserna. Vi får

$$D_{ekv} = D_{\text{öga}} + D_{dvl} = \frac{1}{0.020 [m]} + 6 \frac{2}{3} = 56.7 \text{ dioptrier} \Rightarrow f_{ekv} = \frac{1}{56.7} [m] = 17.6 \text{ mm}$$

Fouriertransformen uppstår alltså $s = f_{ekv} = 17.6 \text{ mm}$ bakom linsen eller 2.4 mm framför näthinnan.

(b) När vi tar bort DOEn har vi de två linserna kvar, och dessa hade fokallängden f_{ekv} , vilket också är avståndet till planet där vi betraktar intensitetsfördelningen. Eftersom infallande våg är plan erhålls ett fokus i detta plan. Intensiteten är alltså väl samlad i en liten prick. Men pricken är förstås inte oändligt liten, och dess intensitetsfördelning beror på fältet precis efter ögonlinsen, i "Plan 1" för propagationen i ögat. Ögonlinsens ändliga diameter (eller om vi antar att det finns en pupill) skär ut en cirkulär area med konstant intensitet ur det infallande fältet. I HUPP 1 såg vi att ett sådant startfält ger upphov till en Airy-fördelning i fokus.

3. Vad är felet?

Här kommer *mitt* svar:

Hej!

Jag antar att du tänker att man skulle använda systemets geometrisk-optiska förstoring ($M=20\text{mm}/6000\text{m}$) och tänka att man avbildar laserstrålens tvärsnitt när den lämnar lasern?

Men detta är inget avbildningsproblem. Laserstrålens tvärsnitt är ingen yta som består av inkoherenta punktkällor (som t.ex ett belyst föremål, eller solytan). Det uppstår alltså ingen bild på näthinnan där man kan säga att en viss position på näthinnan svarar mot en viss position i tvärsnittet.

Dessutom, även om laserstrålens tvärsnitt när den lämnar lasern skulle vara en inkoherent ljuskälla kan man inte använda geometrisk optik för att bestämma ljusfläckens storlek på näthinnan. Som du ser av lösningen är nämligen minsta spotsize $6\mu\text{m}$ vilket är mycket större än geometrisk-optiska storleken av bilden ($M*2\text{mm}=10\text{nm}$). Punktkällorna ger alltså upphov till var sin ljusfläck på ca $6\mu\text{m}$ vars centrumpositioner fördelas över den geometrisk-optiska bilden (vilket är en försumbar förskjutning). De hamnar alltså ovanpå varandra, så att hela bilden bara blir en $6\mu\text{m}$ stor fläck på näthinnan.

/Jörgen

4. Tandläkarspeglen

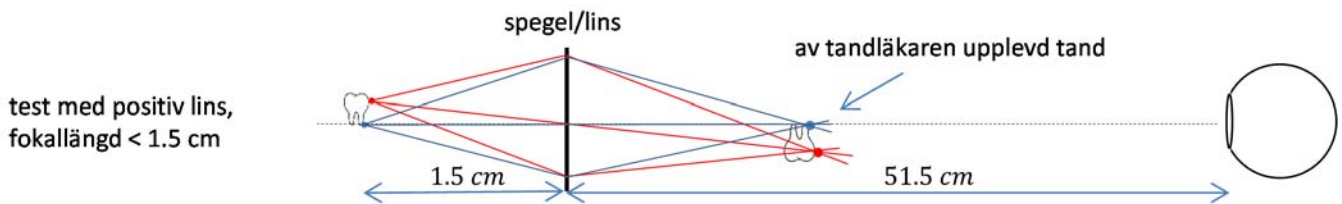
När tandläkaren tittar direkt på tanden antar vi att situationen är följande,



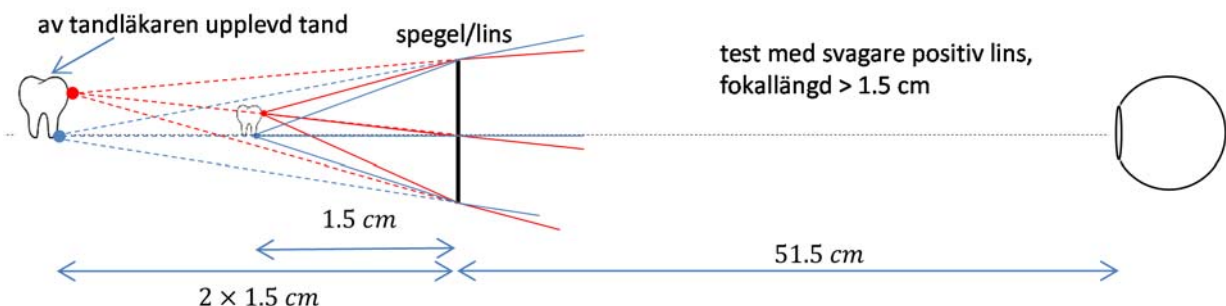
d.v.s. avståndet mellan öga och tand är 50 cm. Om tandläkaren istället tittar via spegeln ska hen få följande upplevelse,



d.v.s. motsvarande punktkällor ska nu ligga dubbelt så långt från symmetriaxeln (gör att tanden uppfattas som dubbelt så stor), medan avståndet till ögat fortfarande ska vara ungefär 50 cm. Detta är för att om bilden uppstår på ungefär samma avstånd som den fysiska tanden (plus/minus några centimeter) behöver inte tandläkaren fokusera om ögonen när hen går från att titta direkt på tanden till att kolla på bilden i spegeln. Men hur ska man åstadkomma denna bild? Låt oss arbeta med en "utvikt" strålgång där spegeln är ersatt med en ekvivalent lins, och låt oss först anta att vi har en positiv lins som är tillräckligt stark för att kunna bryta ihop strålarna så att de konvergerar efter linsen:



Eftersom avståndet från tand till lins (spegel) enligt uppgift skulle vara 1.5 cm så måste linsen ha en fokallängd kortare än 1.5 cm för att bryta ihop strålarna till nya punktkällor till höger om spegeln. Som vi ser av skissen kan visserligen motsvarande punktkällor ligga längre från symmetriaxeln (den röda punktkällan) så att vi uppnår förstoring, men som vi ser upplevs tanden upp och ned. Men enligt specifikationen skulle bilden vara rättvänd, så vi provar med en svagare, men fortfarande positiv lins:



Eftersom linsen har längre fokallängd än 1.5 cm är strålarna från punktkällorna på den fysiska tanden fortfarande divergenta efter passage genom linsen, fastän något mindre divergenta. Tandläkaren, som observerar ljuset efter linsen, uppfattar nu att punktkällorna (d.v.s. tanden) ligger bakom linsen. Med konstruktionsregeln "en stråle genom centrum på en lins bryts inte" ser vi att om den röda punktkällan tycks ligga bakom motsvarande fysiska punktkälla har den också större avstånd till symmetriaxeln, d.v.s. vi har en förstörd bild. Uppenbarligen, om bilden ligger dubbelt så långt från linsen än den fysiska tanden, alltså 3 cm, är bilden dubbelt så stor. Avståndet från punktkällorna till tandläkarens öga är $3\text{cm} + 51.5\text{cm} = 54.5\text{cm}$, så det är

inga problem för tandläkaren att i ena ögonblicket titta direkt på tanden och i nästa titta via den bakomliggande spegeln. Nu återstår bara att bestämma fokallängden på lins/spegel. Avståndet från objektet till linsen är $s_o = 1.5\text{cm}$, och avståndet från linsen till bilden (som nu är virtuell och ligger 3 cm till vänster om linsen) är $s_i = -3\text{cm}$ (s_i räknas positiv till höger om linsen). Den fokallängd f som krävs på linsen är då

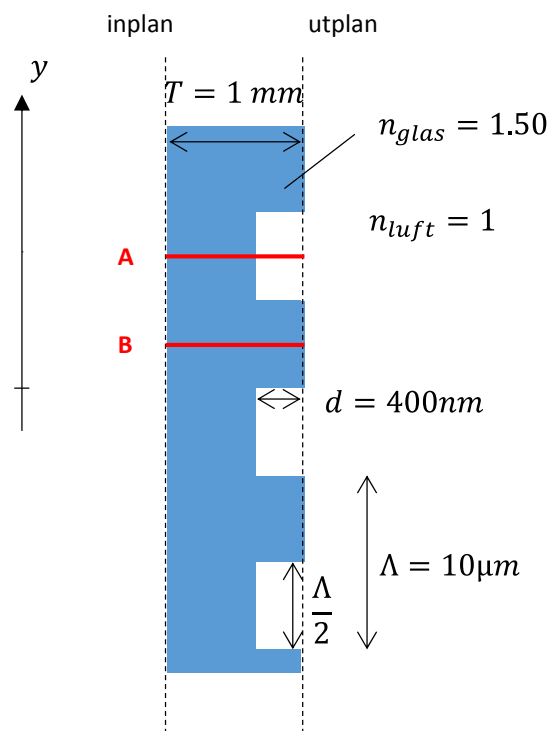
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} \Rightarrow f = 3\text{cm}$$

Eftersom linsen är en spegel är det vanligare att specificera dess krökningsradie $R = 2f = 6\text{cm}$. Eftersom linsen ska vara positiv, alltså göra strålarna mindre divergenta, ska spegeln också göra det genom att vara konkav, d.v.s. som insidan på en skål.

5. Prickar, prickar på väggen där, säg vem som starkast av alla är...

Glasplattan med sitt mönster är ett diffraktionsgitter, och prickarna på väggen är diffraktionsordningarna. Glasplattan fungerar som en fasmodulerande TOK, eftersom ljuset som går längre sträcka i glas fördröjs jämfört med det ljus som träffar ett nedetsat dike. Problemet består av två delar:

- Bestämma TOKen transmissionsfunktion.
- Bestämma ljusstyrkan i diffraktionsordning $m = 0$ (rakt fram) samt $m = +1$ (TOKen är symmetrisk i y -led så den måste sända ut lika mycket ljus "neråt" i en viss vinkel som "uppåt" i samma vinkel, d.v.s. ordning $m = -1$ är lika stark som $m = +1$).



- Fasmoduleringen har två värden, beroende om ljuset går via väg A (genom dike) eller B. TOK-modellen ger fasmodulering via A

$$\varphi_A = k_0 n_{glas}(T - d) + k_0 n_{luft}d$$

och B

$$\varphi_B = k_0 n_{glas}T$$

Stryker vi gemensamma termen $k_0 n_{glas}T$ i båda uttrycken (endast skillnaden mellan φ_A och φ_B har betydelse) fås

$$\varphi_A = -k_0(n_{glas} - n_{luft})d = -\frac{2\pi}{633nm}(1.5 - 1)400nm = -1.99 \text{ rad.}$$

$$\varphi_B = 0$$

ii. Enligt föreläsninganteckningarna till F4 ges fältet i diffraktionsordning m av

$$E_m = \int_{\text{en period}} T_{\text{TOK}}(y) e^{j2\pi m \frac{y}{\Lambda}} dy = \int_0^{\Lambda/2} e^{j\varphi_B} e^{j2\pi m \frac{y}{\Lambda}} dy + \int_{\Lambda/2}^{\Lambda} e^{j\varphi_A} e^{j2\pi m \frac{y}{\Lambda}} dy$$

För $m = 0$ fås

$$E_0 = e^{j\varphi_B} \int_0^{\Lambda/2} 1 dy + e^{j\varphi_A} \int_{\Lambda/2}^{\Lambda} 1 dy = \frac{\Lambda}{2} (e^{j\varphi_B} + e^{j\varphi_A}) = \frac{\Lambda}{2} (1 + e^{-1.99j})$$

För $m = 1$ fås

$$\begin{aligned} E_1 &= e^{j\varphi_B} \left[\frac{e^{j2\pi \frac{y}{\Lambda}}}{j2\pi \frac{1}{\Lambda}} \right]_0^{\Lambda/2} + e^{j\varphi_A} \left[\frac{e^{j2\pi \frac{y}{\Lambda}}}{j2\pi \frac{1}{\Lambda}} \right]_{\Lambda/2}^{\Lambda} = \frac{1}{j2\pi \frac{1}{\Lambda}} (e^{j\varphi_B} [-1 - 1] + e^{j\varphi_A} [1 - (-1)]) \\ &= \frac{\Lambda}{j\pi} (-e^{j\varphi_B} + e^{j\varphi_A}) = \frac{\Lambda}{j\pi} (-1 + e^{-1.99j}) \end{aligned}$$

Intensiteterna i diffraktionsordningarna blir

$$\begin{aligned} I_0 &= |E_0|^2 = \frac{\Lambda^2}{4} (\{1 + \cos(-1.99)\}^2 + \sin(-1.99)^2) = \frac{\Lambda^2}{4} 1.19 \\ I_1 &= |E_1|^2 = \frac{\Lambda^2}{\pi^2} (\{-1 + \cos(-1.99)\}^2 + \sin(-1.99)^2) = \frac{\Lambda^2}{\pi^2} 2.81 \end{aligned}$$

Kvoten blir

$$\frac{I_1}{I_0} = 0.96$$

d.v.s. de tre ordningarna är i praktiken lika starka! (Det är svårt att få jättehög precision i etsdjupet d , så tillverkade gitter ger oftast diffraktionsordningar vars styrka avviker en del från de ideala värdena.)

6. Mercuriuspassagen den 9 maj 2016

Vi börjar med att bestämma storleken av bilden av Merkurius på näthinnan från geometrisk optik. Ja egentligen storleken av bilden av den svarta skivan med solytan som bakgrund, men det är samma sak. Merkurius har avståndet 58 milj km till solen, och Jorden har 150 milj km. Vid passagen är alltså Merkurius avstånd till Jorden 92 milj km. Diametern hos Merkurius är 4900 km. Ögat är 20 mm långt alltså blir storleken av Merkurius bild

$$D_M = 4900 \text{ km} \frac{20 \text{ mm}}{92 \text{ milj km}} = 1 \mu\text{m}$$

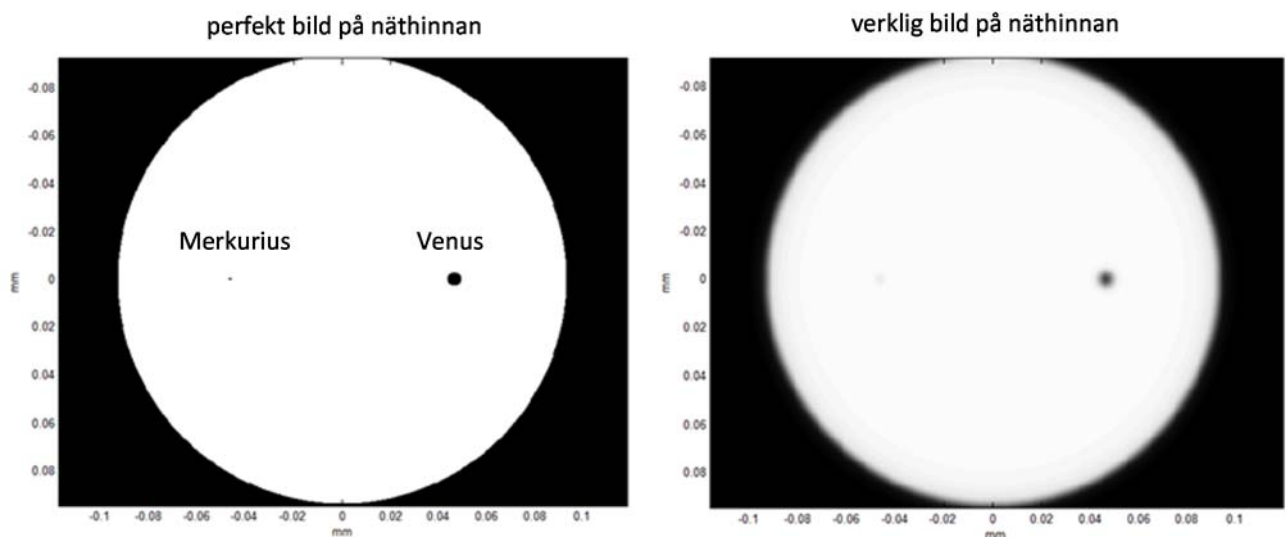
Men intensitetsvariationen på näthinnan kan inte variera över en så kort sträcka. Kortaste variationssträcka ges av minsta spotsize som är

$$D_{spot} = C \frac{\lambda}{D_{pupill}} L_{öga} \approx C \frac{500 \text{ nm}}{3 \text{ mm}} 20 \text{ mm} \text{ vilket blir ca } 5 \mu\text{m}$$

Precis som i svaret på fråga 3 blir alltså Merkurius utsmetad till en fläck med en storlek på ca $5 \mu\text{m}$, men därmed blir också ljuset från Merkurius (i detta fall mörkret från dess skugga) utsmetad över en mycket större yta. Därför blir det bara en svag minskning i solytans intensitet runt den position där Merkurius är belägen – i praktiken är den inte märkbar. Så uppgifterna i media stämmer. Det är först när den storleken av den geometriska bilden är av storlek minsta spotsize som inte ljuset från objektet blir så utsmetad att det blir osynligt.

För Venuspassage är situationen annorlunda, eftersom planeten är större och betydlig närmare Jorden vid passage. Simuleringen visar hur ögat (optimal synskärpa, 3 mm pupilldiameter) uppfattar solytan när Venus och Merkurius passerar (samtidigt!). Merkurius är faktiskt synlig i simuleringen som en mycket svag nedgång i intensiteten, men i praktiken är den helt osynlig i närvaro av atmosfäriska störningar, solfläckar på solytan, samt ögats icke-perfekta funktion.

Simulering av Mercurius- och Venuspassage framför solytan

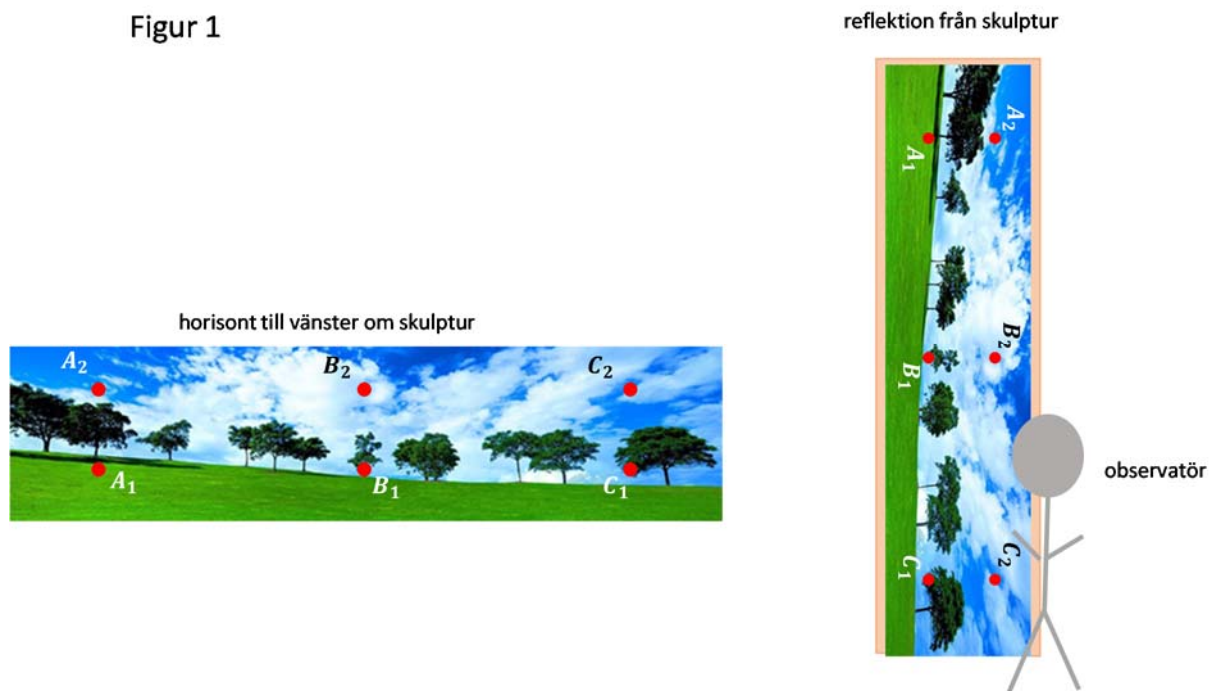


7. Hjälp mig (behålla jobbet?)

Wikipedia: Pål Svensson, född 1950 och uppväxt i Göteborg, är en svensk skulptör.

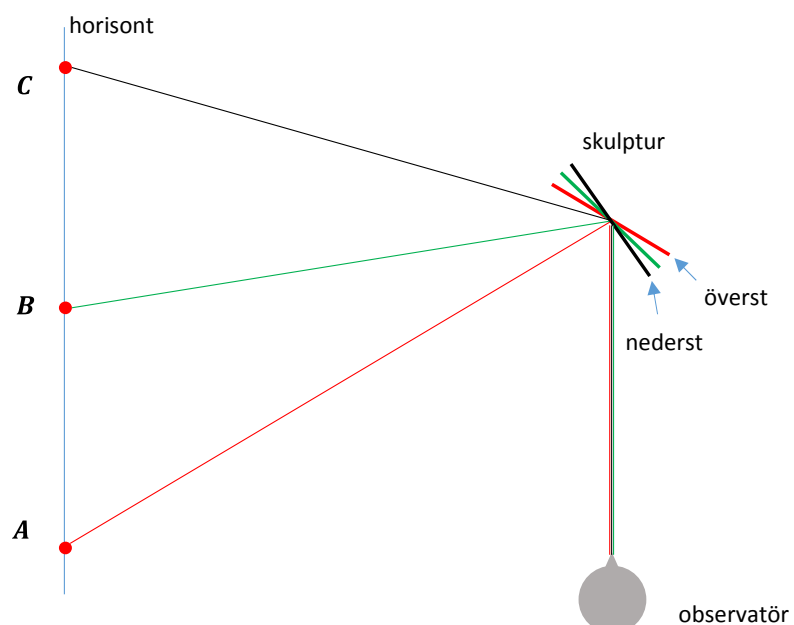
Det observerade fenomenet visas i Figur 1. Det är uppenbart horisonten till vänster om skulpturen som vi ser reflexen av i skulpturens blankpolerade stenyta. Notera orienteringen av de markerade punkterna.

Figur 1



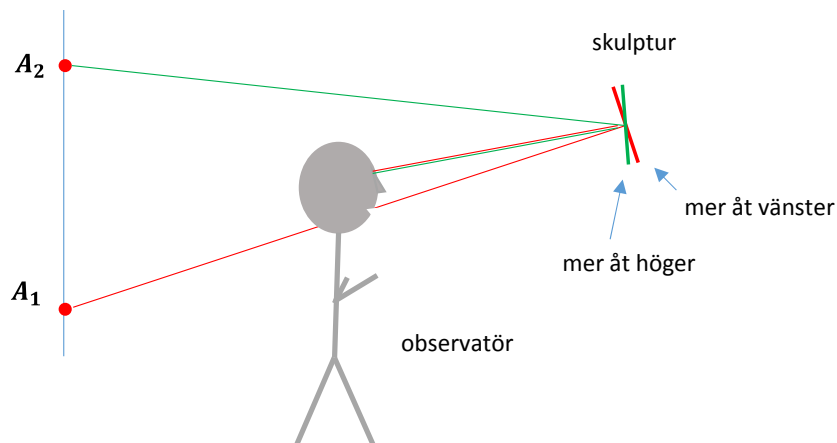
Vi börjar med att betrakta situationen ovanifrån, Figur 2. För att ljuset från A, B och C ska riktas mot observatören måste reflekterande ytan hos skulpturen vrida sig. Eftersom ljuset från C kommer från en position längst ner på skulpturen måste "den svarta ytan" vara längst ner, och motsvarande är den röda ytan längst upp. Den reflekterande ytan är alltså en *spiral vars yta är riktad bort från observatören längst ner och som sedan alltmer vänder sin sida mot observatören längre upp på skulpturen*.

Figur 2: sett ovanifrån



Nu har vi alltså sett till att vänster->höger på den riktiga horisonten svarar mot upp->ner i reflexen från skulpturen. Vi kanske för säkerhets skull också ska övertyga oss om att ner->upp på den riktiga horisonten svarar mot vänster->höger i reflexen. För den skull betraktar vi scenariot från sidan, Figur 3.

Figur 3: sett från sidan



I Figur 3 är två punkter på olika höjd på horisonten markerade. För att observatören ska nås av ljus från en horisontpunkt måste uppenbarligen den reflekterade ytan vridas mer uppåt ju högre upp på horisonten punkten är. Eftersom detta ska svara mot en position högerut i reflexen från skulpturen ska alltså ytan på skulpturen peka mer uppåt ju längre ut åt höger vi går. Och vilken tur: en spiral som är vriden på det sätt som vi kommer fram till i Figur 2 har en yta som pekar mer uppåt ju längre ut åt höger vi går! Och vilken tur igen - för är det inte just så som Pål Svenssons skulptur verkar vara gjord (plus/minus lite konstnärlig frihet) om man kollar noga på fotografiet nu när vi vet hur den borde se ut?!