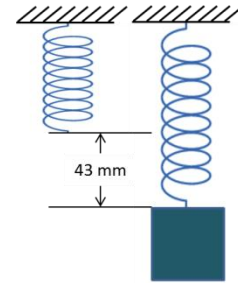


# 0. Svängningar

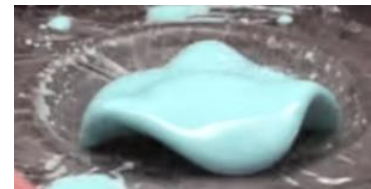
**0.1** När en fjäder belastas med 0,55 kg dras den ut 43 mm (se figur). Massan sätts sedan i svängning och avståndet mellan vändlägena blir 32 mm.

- Var har massan sin minimala hastighet?
- Vilken är den maximala hastigheten och var kan den uppmätas?
- I vilket läge är accelerationen som störst?
- Hur lång tid tar det för massan att röra sig från jämviktsläget och tillbaka?
- Vilken är den maximala kraften som massan utsätts för?



**0.2** Hur stor energi ska tillföras en partikel med massan 300 g om den ska svänga harmoniskt med frekvensen 5,0 Hz och amplituden 5,0 cm?

**0.3** Om man placerar en icke-Newtonska vätska på ett högtalarmembran och sedan filmar med en höghastighetskamera när man spelar musik i högtalaren kan man se mycket märkliga formationer bildas. Ett lite tråkigare, men enklare experiment är att lägga ett litet gem på membranet som ansluts till en tongenerator inställd på 50 Hz. Då volymen långsamt ökas följer gemet först med i svängningen, men när amplituden blir för stor börjar det att skallra. Vilken amplitud har membranet då gemet börjar skallra?

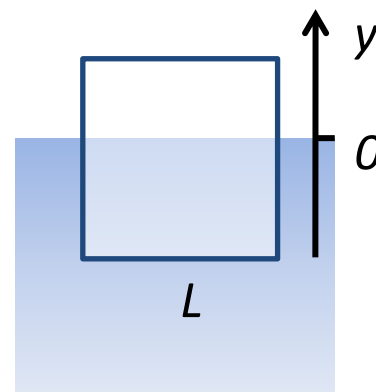


**0.4D** Hur skulle man kunna gå till väga för att väga en astronaut som befinner sig i tyngdlöst tillstånd?

**0.5** En gummikub med sidan  $L$  guppar i vatten. Det går att visa att kraften som driver svängningsrörelsen ges av:

$$F = m_{\text{gummi}} \frac{d^2 y}{dt^2} = -\rho_{\text{vatten}} \cdot g \cdot L^2 \cdot y$$

- Ange ett uttryck för rörelsens frekvens.
- Beräkna periodtiden om kuben väger 4,20 kg. Gummit har densiteten  $520 \text{ kg/m}^3$  och vatten densiteten  $1,00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .



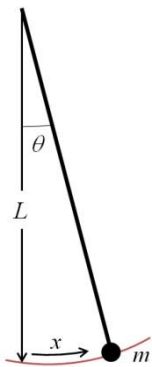
**0.6** Våren håller just på att göra sitt intåg i Sverige och med den kommer vårfloden då all snön smälter. Ett populärt tidfördriv för barn är att bygga barkbåtar och låta dem tävla i bäckar och små vattendrag. Om man sätter ner en barkbåt i stilla vatten kommer den att guppa upp och ned. Om vi antar att barkbiten är cylinderformad går att visa att kraften som driver svängningsrörelsen ges av:

$$F = m_{\text{båt}} \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho_{\text{vatten}} \cdot g \cdot y$$



- Ange ett uttryck för rörelsens frekvens.
- Beräkna periodtiden om barkbåten väger 25 g. Barkbåten har densiteten  $360 \text{ kg/m}^3$ , diametern 5 cm och vatten densiteten  $1,00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

**0.7** Svängningen hos en gunga är harmonisk om man inte tar för hög fart (dvs om vinkeln  $\theta$  är liten). Den här uppgiften går ut på att resonera kring en syskongunga. I en syskongunga kan flera barn få plats (se bilden till höger), men hur påverkas egentligen svängningsrörelsen då antalet barn och därmed massan ökar?



I en syskongunga kan flera barn få plats (se bilden till höger), men hur påverkas egentligen svängningsrörelsen då antalet barn och därmed massan ökar?



Utgå från den återförande kraften och visa att gungans vinkelfrekvens faktiskt är oberoende av massan och kan uttryckas

som  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ , där  $L$  är gungans längd och  $g$  är tyngdaccelerationen, ni får anta små vinklar  $\theta$  och att  $\sin \theta = \tan \theta$ .



# 1. Ljusets natur

**1.1 D** Varför är kortvågigt ljus ofta mer skadligt än långvågigt ljus?

**1.2** Ett enkelt experiment att testa om man är nyfiken på vilken frekvens det är på mikrovågorna hemma i sin mikrovågsugn är att studera hur smör börjar smälta i den. Bilden till höger är tagen precis efter att smöret börjat smälta (den roterande plattan var givetvis frånkopplad vid experimentet), avståndet mellan de smälta delarna är 61 mm från centrum till centrum, vilken frekvens har mikrovågorna?



**1.3** Hur långt man lyckas slå en golfboll beror framförallt på hur bra man får till svingen, men också på bollens storlek och vikt. Diametern på en golfboll måste minst vara 42,67 mm och vikten får inte överstiga 45,93 gram.



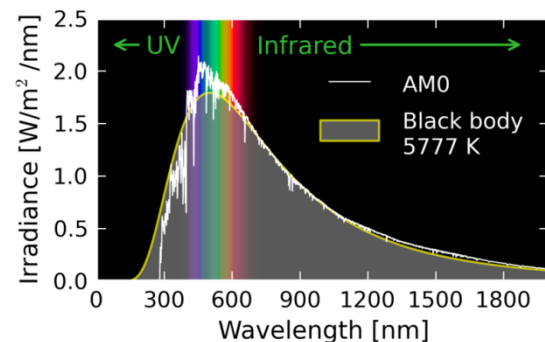
- Beräkna de Broglie våglängden för världsrekordsgolflaget som kom upp i 339 km/h
- Jämför detta med de Broglie våglängden för en elektron med rörelseenergi 10 eV.

**1.4 a)** Tröskeln för människoögas känslighet ligger på omkring 100 fotoner/s. Ögat är som känsligast för våglängder kring 550 nm. Bestäm tröskeeffekten (i W) för denna våglängd.

- Vad är energin (i eV) hos fotoner i slutet det synliga ljusets spektrum med våglängderna 380 och 770 nm.
- Visa att fotonens våglängd (i Å) kan beräknas från dess energi (i eV) via

$$\lambda(\text{Å}) = \frac{12400}{E(\text{eV})}$$

- Beräkna frekvensbandet hos elektromagnetisk strålning som har förmågan att skapa en visuell förmåga hos ögat.



**1.5** Solarkonstanten är ett mått på den totala effekten per areaenhet som strålar in mot jorden från solen. Solarkonstanten är ungefär  $1370 \text{ W/m}^2$  och varierar med ca 0,1 % beroende på solens aktivitet. För en medelvåglängd på 550 nm, beräkna antalet fotoner som träffar  $1 \text{ cm}^2$  av ytan varje sekund.



**1.6** En soprans röst skickas via radiovågor från Lund till en lyssnare i Uppsala ca 600 km bort.

a) Hur lång tid tar det för sopranens röst att nå lyssnaren?



b) I samma tidsintervall, hur långt bort från sopranen har vågen färdats i auditoriet? Ljudets hastighet är 340 m/s.



## 2. Geometrisk optik

**2.1 D** Om man vattnar sina blommor en solig sommardag händer det ibland att man får bruna fläckar på bladen – vad beror det på?



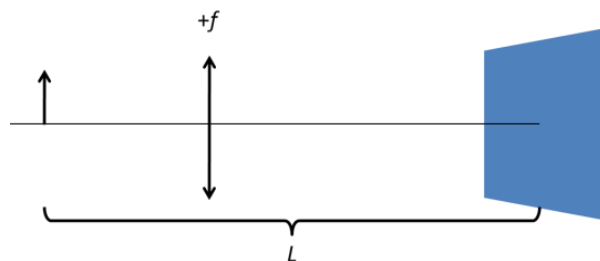
**2.2 D** Kommer en luftbubbla i en plexiglasstav att sprida eller samla ljuset?

**2.3 D** Fermats princip för att designa en lins. En av inlämningsuppgifterna går ut på att med hjälp av Fermats princip designa en lins numeriskt i MatLab. Skissa principen för hur det ska gå till.

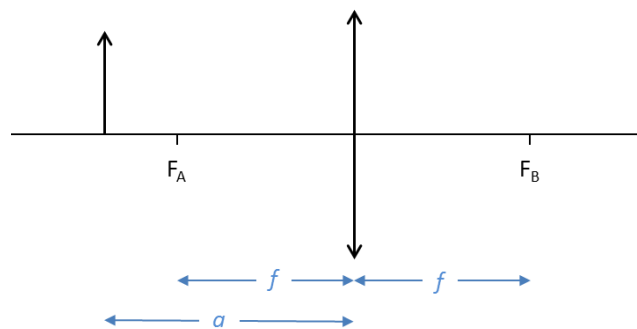


**2.4 D** Hur stor spegel behöver man om man ska kunna se sig själv i helfigur och hur ska den placeras?

**2.5** Om en tunn positiv lins med brännvidden  $f$  placeras mellan ett föremål och en skärm som befinner sig på avståndet  $L$  ifrån varandra går det att hitta två lägen som ger en skarp bild på skärmen. Bestäm de båda lägena uttryckt i  $f$  och  $L$ , du får anta att  $L$  är större än  $4f$ .



**2.6** En positiv lins med brännvidden  $f$  används för att avbilda ett objekt enligt figuren nedan. För vilka



avstånd  $a$  (uttryckt i  $f$ ) får vi följande egenskaper hos bilden:

- Upp- och nedvänd, förminskad och reell.
- Rättvänd, förstorad och virtuell.
- Upp- och nedvänd, oförändrad storlek och reell.

Motivera dina svar för vart och ett av fallen med ett värde eller intervall samt en strålkonstruktion.

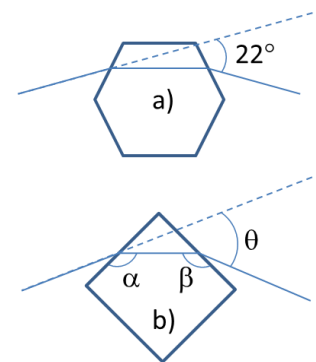
**2.7** Under en dykutflykt i Indonesien stöter en student på en dykare som har tagit med sig ett förstoringsglas märkt 3X, som dykaren tänker använda under vattnet. Studenten börjar fundera på hur förstoringsglasets egenskaper påverkas när det sänks ner i vattnet. Förstoringsglaset är gjort i kronglas (BK7) med brytningsindex 1,517 och symmetrisk (båda ytorna är lika krökta) och du kan anta att det är tunt. Hur långt från förstoringsglaset kommer strålar från solen att fokuseras när det används under vattnet, och hur mycket förändras förstoringsglasets fokallängd under vattnet i förhållande till dess fokallängd i luft? Du kan anta att solstrålarna inte påverkas av vattenytan, och är parallella när de träffar förstoringsglaset.

**2.8** På vintern när kallfronterna börjar avlösa varandra i Sverige kan man se en del vackra himlafenomen. De höga, tunna molnen som formas precis på gränsen till en kallfront består framförallt av sexkantiga iskristaller som bryter solljuset och flera olika ljusfenomen kan beskådas (se bilden). Är kristallerna slumpvis orienterade så bildas det ringar runt solen som brukar kallas för halos.



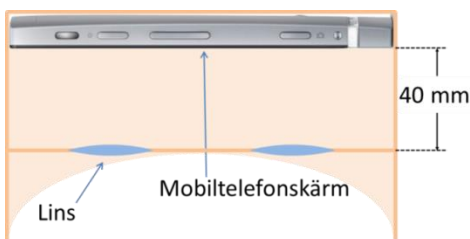
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Halo - Falk%C3%B6ping - Sweden 2003.jpg>

- Den inre halon har en radie av 22 grader och uppkommer då solljuset bryts i två av sidoytorna (till exempel 3 och 5) så att det går parallellt med den mellanliggande ytan (i det här fallet nummer 4). Se strålkonstruktionen i kristall a. Vilket brytningsindex har iskristallerna?
- Ibland kan man också se en större, yttre halo, den skapas då solstrålarna passerar en sidoyta och toppen eller botten, t ex 3 och 1. Strålarna bryts så  $\alpha = \beta$ , se kristall b. Vilken vinkel  $\theta$  har den större halon?

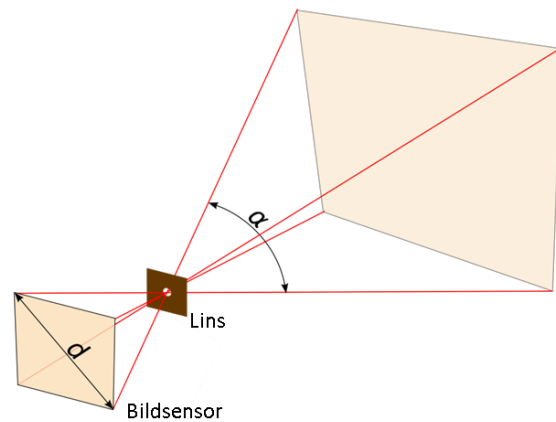


**2.9** Ett stort internet företag från Kalifornien har nyligen släppt en variant på ett par enkla 3D glasögon. De som består av två linser, som avbildar displayen på en vanlig mobiltelefon. Telefonens display delas upp i två halvor, och den högra linsen avbildar den högra sidan av displayen för höger öga, och motsvarande för andra sidan. Detta gör att man liksom på 3D bio kan visa lite olika bilder för de två ögonen och därmed åstadkomma en 3D effekt. Linserna är monterade i en konstruktion gjord av kartong som man själv enkelt viker ihop. Linsernas fokallängd är 45 mm och avståndet mellan linserna och mobiltelefonen är 40 mm. Uppgifterna nedan handlar om hur avbildningen med en av linserna går till.

- Rita en strålkonstruktion och ange var bilden hamnar. Är det en reel eller virtuell bild? (1,5 p)
- Skärmen på mobiltelefonen är 55 mm hög. Hur hög upplevs den att vara när man tittar på den i 3D glasögonen? (1,5 p)

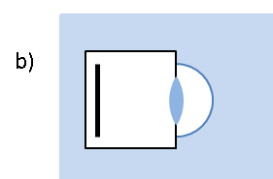
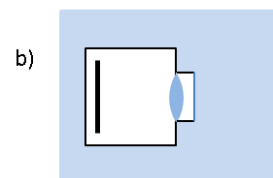
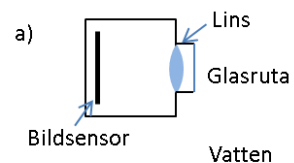


**2.10 Undervattenskamera.** Det har blivit allt mer populärart att fotografera under vattnet. Ofta använder man en vanlig digital-kamera med ett vattentätt hölje. Sikten under vattnet begränsas ofta av ljusspridning, som sker på plankton och andra partiklar, och därför vill man gärna komma nära motivet. För få med hela motivet, väljer man ofta en kamera med stor bildvinkel, (se bilden ovan där  $\alpha$  är bildvinkeln). Uppgifterna nedan handlar om hur bildvinkeln påverkas när kameran i sitt hölje sänks ner under vattnet. Kameralinsens brännvid är 10 mm, och bildsensorns storlek är 13 mm x 9 mm. För enkelhetens skull antar vi att objektet är långt bort från fotografen.



Bildkälla: Koen B (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons

- Vilken är kamerans bildvinkel i luft?
- Kameran sänks ner i vattnet. Höljet har en plan glasruta intill objektivet. Vilken är kamerans maximala bildvinkel nu?
- Slutligen byts den plana glasrutan ut mot en halv-sfärisk glasruta, som har sitt centrum mitt i linsen. Vad blir nu kamerans bildvinkel? Ange någon eller några anledningar till varför undervattensfotografer ofta använder en sfärisk glasruta istället för en platt.





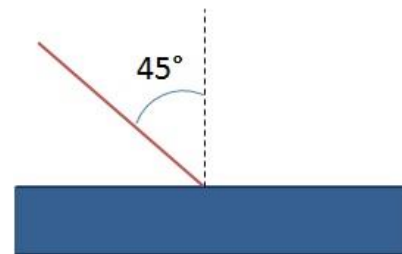
### 2.11

lång tid

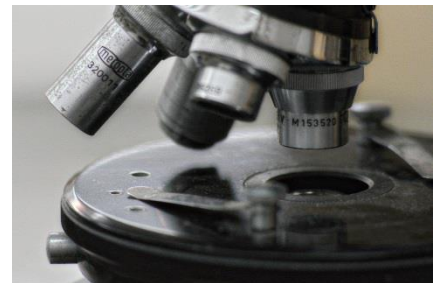
färdas avståndet  $x_1$  genom ett medium med brytningsindex  $n_1$ ,  $x_2$  genom ett medium med brytningsindex  $n_2$  och så vidare genom totalt  $m$  olika medier ända upp till  $x_m$  med brytningsindex  $n_m$ . Uttryck resultatet genom summering.

Härled ett uttryck för hur det tar för en ljusstråle att

**2.12** En ljusstråle träffar övre ytan av en glasskiva med infallsvinkeln  $45^\circ$ . Glasets brytningsindex är 1,414. Rita strålen genom materialet.



**2.13** För att bestämma brytningsindex hos en genomskinlig glasplatta, fokuseras mikroskopet på en liten repa i plattans övre yta och mikroskopets position noteras. Sedan sänks mikroskopobjektivet 1,87 mm och repa är på nytt fokuserad. Plattans tjocklek är 1,50 mm. Hur kommer det sig att man kan se bilden när mikroskopet sänks och vad är glasets brytningsindex?



**2.14** En liten ljuskälla som är placerad på botten av en fyrkantig glasplatta med tjockleken 2,25 cm observeras ovanifrån. Ljusstrålarna totalreflekteras i den övre ytan vilket ger en cirkel med diametern 7,60 cm på plattans bottenyta. Bestäm glasplattans brytningsindex.

**2.15** En glassfär med diametern 7,5 cm har en liten repa på ytan. Var hamnar repa om denna observeras från motsatt sida på sfären? Vad är förstoringen? Glasets brytningsindex är 1,50.





**2.16** När du sitter i din bil ser du i backspegeln en löpare på 5 m avstånd som springer rakt mot dig med hastigheten 4 m/s. Antag att backspegeln är konvex med krökningsradien 2 m. Vilken hastighet tycker du att löparen har?



**2.17** Du har en konvex lins med fokallängden  $f$ . Rita strålgångarna då du placerar ett föremål

- a) på avståndet  $2f$  från linsen
- b) på avståndet  $f$  från linsen
- c) på avståndet  $f/2$  från linsen

Ange i samtliga fall om bilden är virtuell eller reell och ange var den hamnar och hur mycket förstoringen blir.

### 3. Optiska instrument

---

**3.1 D** Hur ändras förstoringen om man använder en lupp under vatten istället för i luft?

**3.2 D** Om man vill att prismorna i en kristallkrona ska sprida ljuset extra mycket, räcker det då att man väljer ett material med ett högt brytningsindex, eller är det någon annan egenskap som behövs?



**3.3** Är Fresnellinsen som kursansvarig håller i fotografiet ovan positiv eller negativ? (ledning: testa genom att rita alternativa strålkonstruktioner).

**3.4** En dörrikikare, som ju är en omvänd Galileikikare (vinkelförstoringen är alltså mindre än 1), konstrueras med hjälp av två linser med brännvidderna  $-6,0$  mm och  $+25,0$  mm.



- a) Vilken vinkelförstoring har dörrkikaren då den är  
 b) Anta att avståndet mellan de båda linserna är  
 var bilden av en försäljare som befinner sig 0,50 m



normalställd?  
 18,9 mm och beräkna  
 från dörren hamnar.

**3.5** De två optikföreläsarna på bilden nedan flyttar sig inte, men eftersom fotografen flyttar sig och ändrar zoominställningen på kamerans objektiv så att fokallängden ändras ser det ut som att den lille föreläsaren växer. Vilken bild är tagen med den kortaste fokallängden och vilken är tagen med den längsta? Rita och förklara varför längdskillnaden mellan föreläsarna ser ut att ändras.



**3.6** I bildsekvensen är en bägare som är tillverkad av Pyrex (Pyrex är ett varumärke för ett speciellt värmetåligt glas som ofta används till bägare gjorda för kemiexperiment, men är också vanligt hos köksattiraljer) placerad i en burk som fylls på med rapsolja. När där är olja både i och runt bägaren syns den (nästan) inte. Förklara fenomenet som gör bägaren osynlig. Förklara också varför texten som fortfarande syns på bägaren ser större ut när bägaren är nedsänkt i olja.



**3.7** Skissa en kurva som beskriver den totala avlänkningen ( $i$ ) mot ingångsvinkeln för ett prisma med apexvinkeln  $60^\circ$  och brytningsindex 1,48.

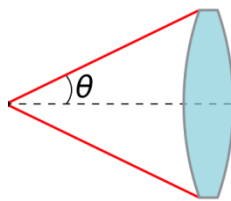
**3.8** En parallell stråle med vitt ljus bryts i ett prisma med apexvinkeln  $60^\circ$  då infallsvinkeln motsvarar ger minimal avläkning för ljus mitt i det synliga området. Vad är vinkelavståndet mellan rött ( $n=1,525$ ) och blått ( $n=1,535$ ) ljus?

**3.9** När ljuset passerar atmosfären minskar effekten något och väl framme vid ytan är solstrålarnas intensitet ungefär  $1000 \text{ W/m}^2$  på en yta vinkelrät mot strålarna. En dag när du studerar små blommor i trädgården med ett förstoringsglas råkar du avbilda solen på ett blomblad. Sedd från jorden upptar solen ungefär en vinkel på  $0,5^\circ$ . Vilken är intensiteten på blombladet då solen avbildas med en lens med diametern 5 cm och fokallängden 50 cm?

**3.10** Ett enkelt mikroskop tillverkas av två linser. Objektivlinsen har en brännvidd på 8,00 mm och en diameter på 9,80 mm och okularlinsen har en brännvidd på 25,0 mm. Objektivlinsen och okularlinsen placeras 156 mm ifrån varandra. Provet som studeras placeras 8,50 mm ifrån objektivlinsen.

a) Vilken är mikroskopets totala förstoring? (rita!)

I ett forskningsprojekt på avdelningen för atomfysik vill man läsa ut resultatet från en kvantdatorberäkning genom att mäta om en enda atom sänder ut ljus eller inte. Eftersom ljuset kommer från en ensam atom så är det väldigt svagt, och det är alltså viktigt att samla in så mycket ljus som möjligt. Genom att räkna ut i hur stor vinkel  $\theta$ , som det av atomen utsända ljuset samlas in av objektivlinsen, kan man beräkna hur stor del av det totalt utsända ljuset som samlas in.



b) I hur stor vinkel  $\theta$  samlas ljuset som sänds ut av atomen in av objektivlinsen, om atomen skulle sitta fritt i luften.

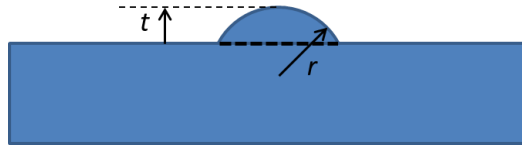
Atomen sitter inbäddad 1,00 mm under ytan i en kristall med ett brytningsindex på 1,82.

c) Hur långt ifrån objektivlinsen skall atomen i provet placeras för att få samma förstoring som i uppgift a)?

d) Hur stor är den verkliga vinkeln där ljus samlas ihop ifrån atomen nu?

En så kallad immersionslins med samma brytningsindex som kristallen sätts fast på kristallens yta med hjälp av optisk kontaktering (streckad linje i bilden nedan). Optisk kontaktering innebär att ytorna som skall sättas ihop poleras väldigt jämna, och ytorna förs sedan hop. Immersionslinsen hålls då fast med

intermolekulära krafter som Van der Waals krafter, vätebindningar och dipol-dipol växelverknningar. Ett sådant skikt får samma optiska egenskaper som om det inte var där. Immersionslinsen har formen av en delsfär med en radie,  $r$ , på 2 mm, och en tjocklek,  $t$ , på 1 mm.



- e) Hur långt ifrån objektivlinsen skall atomen i provet nu placeras för att få samma förstoring som i (a)?

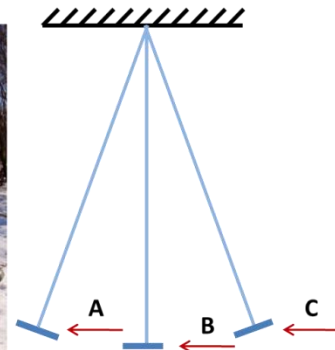
Andelen av den totala mängden ljus som atomen sänder ut som samlas in vid olika vinklar  $\theta$  ges av

$$\frac{I}{I_{tot}} = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right).$$

- f) Hur mycket ökar ljusinsamlingen från kristallen om man använder sig av en immersionslins?

## 4. Vågekvationen

**4.1 D** En poäng med utbildningarna på LTH är att Ni studenter ska lära er "ingenjörskunskap", men vad menas egentligen med det? En del av svaret är definitivt förmågan att tillämpa inlärd principer på nya problem. Det finns t ex flera anledningar till att du sällan ser en fysiker stå bakom en gunga när han eller hon puttar fart på sina barn (samma gäller för övrigt även dagispersonal).



När är det effektivast att knuffa på gungan om man vill få den att svänga så mycket som möjligt med så liten ansträngning som möjligt? I läge A, B eller C (se figuren till höger)?

**4.2** Bestäm för var och en av vågfunktionerna:

$$s_1 = 4 \cdot \sin(2\pi(0,2x - 3t))$$

$$s_2 = \sin(7x + 3,5t)/2,5$$

- frekvensen,
- våglängden,
- perioden,
- amplituden,
- fäshastigheten samt
- rörelseriktningen.

**4.3** Ange vilka av följande funktioner som beskriver fortskridande vågor och uppfyller den linjära vågekvationen:

a)  $s(y, t) = \exp(-a^2y^2 - b^2t^2 + 2abty)$

b)  $s(z, t) = A \cdot \sin(az^2 - bt^2)$

c)  $s(x, t) = A \cdot \sin(2\pi(x/a + t/b)^2)$

d)  $s(x, t) = A \cdot \cos^2(2\pi(t - x))$



**4.4** En viss mikrovågsugn har en sändare som ger effekten 1,0 kW i en linjärpolariserad våg över arean  $(0,20 \text{ m})^2$ . Frekvensen är 2,45 GHz.

- Beräkna våglängden och perioden.
- Beräkna  $E$ -fältets amplitud.

4.5 En isotropisk, approximativt punktformig och monokromatisk källa utsänder 100 W i luft.

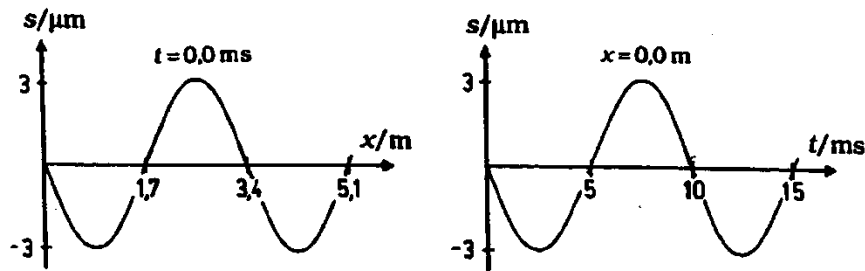
- Vilken intensitet fås på avståndet 1,0 m?
- Vilka amplituder har  $E$ - och  $B$ -fälten?

4.6 En linjärpolariserad dopplerradar med harmoniska svängningar uppges ha intensiteten  $1,40 \pm 0,06$  W/m<sup>2</sup>. Beräkna maximala värdet av elektriska fältstyrkan  $E$ , och ange en feluppskattning.

4.7 När vi skriver en våg som

$$s = A \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) + \alpha \right]$$

anger vi hur vågen ser ut i varje punkt och vid varje tidpunkt. När vi ritar en bild av vågen måste vi välja ett bestämt värde på  $t$ , ungefär som om vi tog ett foto av vågen. Vi kan också rita hur *en* bestämd punkt hos vågen svänger som funktion av tiden. Bägge bilderna behövs för att ange rörelsen fullständigt. Bestäm  $A$ ,  $T$ ,  $\lambda$  och  $\alpha$  hos den vågrörelse som beskrivs av diagrammen i figuren nedan. Avgör också vågens utbredningsriktning, dvs. om tecknet är plus eller minus i vågens ekvation.

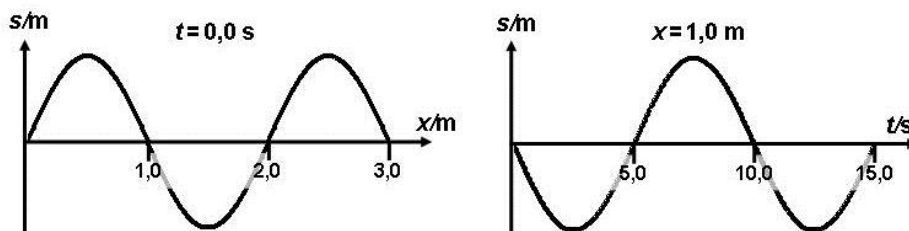


Till vänster visas vågen  $s$  som funktion av  $x$  då  $t = 0$  ms. Till höger visas origopunktens svängning som funktion av tiden.

4.8 En vågrörelse beskrivs av ekvationen

$$s(x, t) = A \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) + \alpha \right]$$

Bestäm med hjälp av diagrammen nedan om vågen rör sig åt höger eller åt vänster.

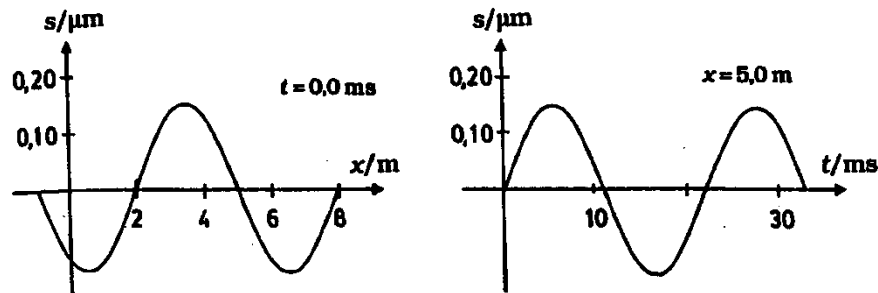


4.9 En vågrörelse beskrivs av ekvationen

$$s = A \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) + \alpha \right]$$



- a) Bestäm med hjälp av diagrammen i figuren nedan värden på  $A$ ,  $T$ ,  $\lambda$  och  $\alpha$  och avgör om tecknet är plus eller minus.  
 b) Hur stor är vågens utbredningshastighet och vilken är den maximala partikelhastigheten?



Till vänster visas vågen  $s$  som funktion av  $x$  då  $t = 0$  ms. Till höger visas  $s$  som funktion av  $t$  då  $x = 5,0$  m.

4.10 Uppgiften går ut på att rita en våg som har följande egenskaper:

- I. Våglängden: 5,0 meter
- II. Periodtiden: 2,0 sekunder
- III. Faskonstanten:  $\pi$
- IV. Amplituden: 4 centimeter
- V. Vågen rör sig åt vänster, i negativ  $x$ -riktning.

Du ska rita vågen både som funktion av positionen (då tiden är 1,0 s) och som funktion av tid (för positionen  $x=0,0$  m).

4.11 En plan, harmonisk, linjärpolariserad ljusvåg utbreder sig i glas varvid  $\vec{E}$ -fältet kan skrivas:

$$E_z = E_0 \cdot \cos \left( \pi \cdot 10^{15} \left( t - \frac{x}{0,65 \cdot c} \right) \right)$$

Ange

- a) Frekvensen
- b) våglängden i vakuum
- c) våglängden i glas
- d) våghastigheten i glas
- e) brytningsindex

**4.12** Formen på en puls som rör sig längs ett rep kan mycket förenklat beskrivas som  $y = ae^{-bx^2}$ , där  $a$  och  $b$  är konstanter och  $x$  koordinaten längs med repet angiven i cm. Rita upp denna puls och formulera ekvationen som beskriver pulsen då den rör sig i omvänd riktning med hastigheten 10 cm/s.

**4.13** Betrakta följande matematiska uttryck, där avstånden är i meter:

1.  $y(z, t) = A \sin^2[4\pi(t + z)]$

2.  $y(x, t) = A(x - t)^2$

3.  $y(x, t) = \frac{A}{Bx^2 - t}$

a) Vilka av uttrycken ovan motsvarar fortskridande vågor? Motivera.

b) För de fortskridande vågorna, ange storlek och riktning på hastigheten.

**4.14** En harmonisk våg rör sig i negativ  $z$ -riktning med amplitud 4 bananenheter, våglängden 3 m och perioden 4 s. Förflyttningen i origo är noll vid tiden  $t = 0$  s. Ange ekvationen för denna våg

**4.15** a) Visa att om det maximala positiva utslaget hos en sinusvåg sker vid avståndet  $x_0$  från origo då  $t=0$ , då ges vågens initiala fasinkel  $\varphi_0$  ges av

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)x_0$$



Där våglängden  $\lambda$  är i cm.

b) Bestäm den initiala fasvinkeln och rita vågen för  $\lambda = 10$  cm och  $x_0 = 0, \frac{5}{6}, \frac{5}{2}, 5, -\frac{1}{2}$  cm.

c) Vad är de lämpliga initiala fasvinklarna för (b) då en cosinusfunktion används i stället?

**4.16** Visa att en vågfunktion, som är uttryckt i komplex form, är fasförskjutet med

a)  $\frac{\pi}{2}$  då den multipliceras med  $i$



b)  $\pi$  då den multipliceras med  $-1$



## 5. Superposition av vågor

---

**5.1 D** När det regnar på en vattenyta ger varje regndroppe upphov till en cirkulär våg. Varför bildas det inga monstervågor när de olika vågorna adderas?

**5.2 D** Hur fungerar hörlurar med aktiv bullerreducering? Tips: Det sitter en mikrofon på utsidan av lurarna och en högtalare på insidan

**5.3** Två stämgaflar ger frekvenserna 440 Hz respektive 442 Hz. Som vanligt vid frekvensangivelser avses störningens, t.ex. ljudtryckets tidsvariation. Med vilken svängningsfrekvens varierar den totala intensiteten?

**5.4 Lite utanför kursen.** Två lika högtalare är uppställda intill varandra i luft på en dryg meters avstånd från en mikrofon. Avståndet till mikrofonen är för båda högtalarna lika och justerat så att ljudvågorna kommer i fas till mikrofonen. Hur ändras ljudnivån med två högtalare inkopplade istället för en,



- om högtalarna sänder samma signal?
- om högtalarna sänder signaler med samma ljudnivå men annars helt utan samband?

**Tips:** Ljudnivå  $L_1 = 10 \cdot \log(I/I_0)$  där  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ . Ljudnivån anges i dB.

**5.5 överkurs!** Vid Wieners experiment sänds en monokromatisk ljusstråle ( $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$ ) mot en metallspiegel. På grund av reflexen bildas en stående våg. Anta att spegeln är perfekt så att reflektansen är 1 och elektriska fältstyrkan vid spegelytan  $\approx 0$ . Ange de tre svängningsbukar som uppkommer närmast spegeln för

- $E$ -fältet
- $B$ -fältet
- Var uppkommer svärtning på en inplacerad fotografisk plåt?

**5.6 överkurs** Två planvågor ges av

$$E_1 = \frac{5E_0}{\left[\left(\frac{3}{m}\right)x - \left(\frac{4}{s}\right)t\right]^2 + 2}$$
$$E_2 = \frac{5E_0}{\left[\left(\frac{3}{m}\right)x + \left(\frac{4}{s}\right)t - 6\right]^2 + 2}$$

- Beskriv vågornas rörelse.
- Vid vilken tidpunkt är deras superposition noll överallt?
- I vilken punkt är deras superposition alltid noll?

**5.7** Två vågor som färdas längs samma linje beskrivs av följande ekvationer

$$y_1 = 5 \sin \left[ \omega t + \frac{\pi}{2} \right]$$

$$y_2 = 7 \sin \left[ \omega t + \frac{\pi}{3} \right]$$

Rita formen på den resulterande vågen.

**5.8** Plotta och ange ekvationerna för superpositionen av följande harmoniska vågor

$$E_1 = \sin \left( \frac{\pi}{18} - \omega t \right), \quad E_2 = 3 \cos \left( \frac{5\pi}{9} - \omega t \right) \quad \text{och} \quad E_3 = 2 \sin \left( \frac{\pi}{6} - \omega t \right)$$

Där perioden är 2 s.

**5.9 överkurs**

a) Visa att gruppshastigheten kan skrivas enligt

$$v_g = v_p - \lambda \left( \frac{dv_p}{d\lambda} \right)$$

b) Ange gruppshastigheten för plana vågor i ett spridande medium, för vilka  $v_p = A + B\lambda$ , där A och B är konstanter. Tolk resultatet.

**5.10** En laser sänder ut en monokromatisk stråle med våglängden  $\lambda$ , som reflekteras vinkelrätt från en plan spegels yta. Spegeln rör sig bort från lasern med hastigheten  $v$ . Vad är svärningsfrekvensen mellan det infallande och det reflekterade ljuset?

## 6. Lasrar

---

- 6.1** a) Är det sannolikt att en foton med energin 4,976 eV absorberas av en väteatom som befinner sig i sitt grundtillstånd?  
b) Vilka våglängder kan jonisera en väteatom som ursprungligen befinner sig i grundtillståndet?  
c) Vilka våglängder kan jonisera en väteatom som ursprungligen befinner sig i energitillståndet  $n=2$ ?

- 6.2** Betrakta en samling atomer som har två energinivåer som skiljs med en energi som motsvarar våglängden 632,8 nm, en av de möjliga linjerna för lasring i en He-Ne laser. Bestäm förhållandet mellan populationsdensiteten hos dessa två nivåer om samlingen atomer är i termisk jämvikt och temperaturen är  $T = 300$  K. Fundera på om det är sannolikt att en sådan samling atomer spontant börjar lasra.

- 6.3** a) Vid vilken våglängd strålar en svartkropp som mest per våglängdsenhet vid  $T = 6000$  K?

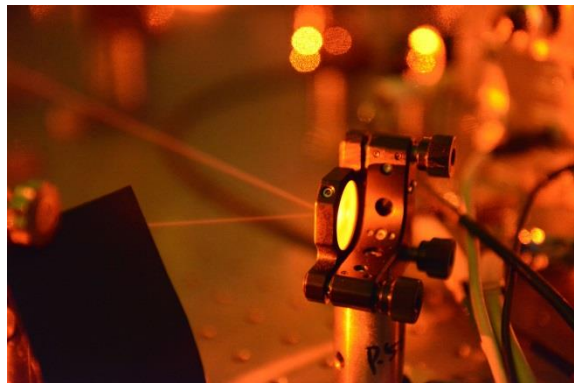
b) Om svartkroppen är ett 1-mm diameters hål i en stor låda med denna temperaturen, bestäm effekten som strålar från hålet i våglängdsregionen 5500-5510 Å.



- 6.4** Bestäm temperaturen hos en grå kropp med emissiviteten 0,65 om den ska ha samma totala utstrålad energi som en svartkropp vid 5000 K.

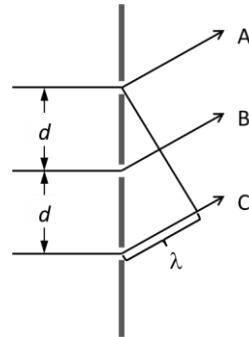


- 6.5 Överkurs** Er föreläsare och era övningsledare forskar på att utveckla koherent ljus i det extremt ultravioletta området via övertongenerering eftersom det är så svårt att bygga konventionella lasrar med korta våglängder. Varför är lasring svårare att uppnå vid ultravioletta våglängder än vid infraröda våglängder? Utveckla ditt svar baserat på förhållandet  $A_{21}/B_{21}$  och betydelsen av  $A_{21}$  och  $B_{21}$  koefficienter.

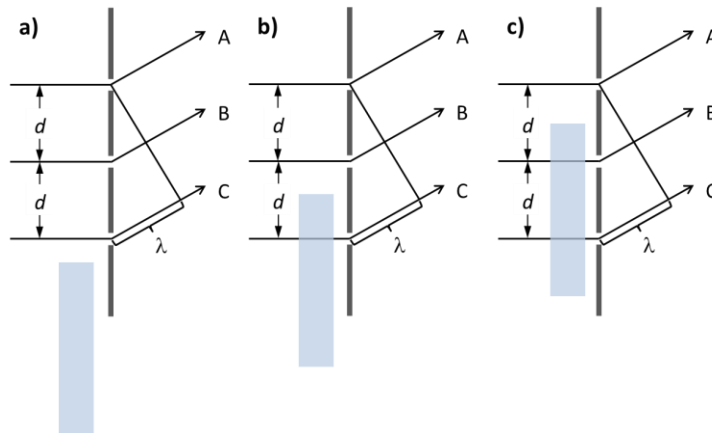


# 7. Interferens

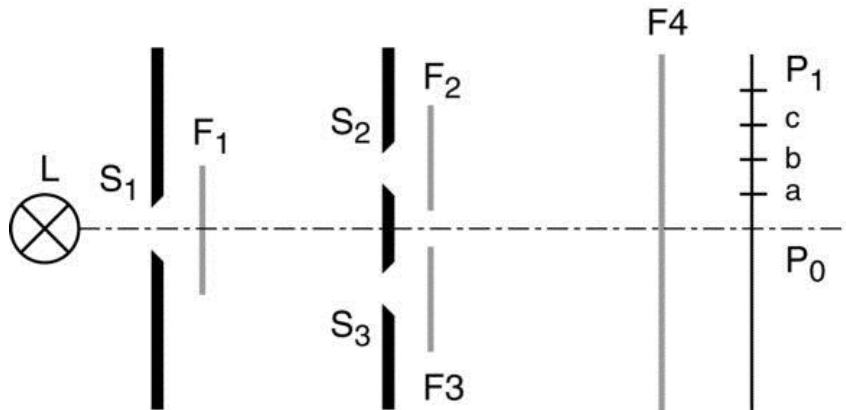
7.1 D Vilka av strålarna A, B och C i bilden till höger är i fas?



7.2 D Parallellt ljus infaller mot en trippelspalt och en tunn glasbit placeras framför spalterna enligt figuren nedan (glasbiten är markerad som en blå rektangel). Vilka av strålarna A, B och C i bilderna nedan är i fas? Glasbitens som skjuts in har en tjocklek på 600 nm med brytningsindex 1,5 och ljusets våglängd är 600 nm.



7.3 Du gör ett tvåspaltförsök enligt figuren.



Du använder spalten  $S_1$ , för att av ljuset från källan  $L$  få tillräcklig spatialkoherens. Ljuset som kommer genom spalterna  $S_2$  och  $S_3$  ger ett interferensmönster på skärmen.  $P_0$  är läget av interferensfransen av ordning noll, medan  $P_1$  är läget av fransen av ordning ett. Punkterna  $a$ ,  $b$  och  $c$  delar  $P_0P_1$  i fyra lika delar.

- Ett polarisationsfilter placeras in vid  $F_1$ .  
Hur ändras interferensmönstret?
- Ytterligare två polarisationsfilter  $F_2$  och  $F_3$  placeras efter spalterna  $S_2$  och  $S_3$  så att deras transmissionsriktningar är vridna  $90^\circ$  relativt varandra och  $45^\circ$  relativt  $F_1$ . Vilken intensitetsfördelning fås nu på skärmen? Beskriv ljusets polarisationstillstånd i  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $a$ ,  $b$  och  $c$ .
- Ett fjärde filter  $F_4$  placeras framför skärmen med transmissions-axeln parallell med  $F_1$ . Hur ser interferensmönstret ut?
- Filtret  $F_1$  vrids  $90^\circ$  i sitt plan. Hur blir interferensmönstret?

7.4 Solljus belyser med normalt infall en tunn oljefilm ( $n = 1,30$ ) på en glasplatta. I reflexen rakt bakåt observeras utsläckning via en monokromator. Utsläckning sker bara för två våglängder i intervallet 450 nm - 700 nm, nämligen 525 nm och 675 nm. Hur tjock är oljefilmen?

Varför observeras sådana fenomen endast i tunna filmer?



**7.5** Till höger ser du ett foto av ett stearinljus som står framför ett fönster. Det är mörkt ute och därför syns i alla fall sex av reflexerna tydligt, men det kan vara svårt att urskilja den snöiga julgranen precis utanför. Glaset har brytningsindex 1,50 och är omgivet av luft. Vid uppskattningarna nedan får du räkna som om ljuset följer normalen till glasrutorna.



- Hur många glasrutor finns i fönstret?
- Gör en uppskattning av hur mycket svagare den sjätte reflexen är än den första. Rita en figur som principiellt visar ljusets väg.
- Den sjunde reflexen är mycket svagare än de tidigare reflektionerna – var kommer den ifrån? Rita en figur som principiellt visar ljusets väg.



**7.6** Du vill bestämma den konvexa ytans radie på en lins, och lägger den på en plan glasyta. Med monokromatiskt ljus av våglängd 633 nm observeras då i reflexen interferensfransar. I mitten är det som sig bör mörkt, medan den femte ljusa fransen har diametern 10 mm. Bestäm linsytans krökningsradie.

**7.7** Vid antireflexbehandling av glas med brytningsindex  $n_g$  förångas ett skikt på med den optiska tjockleken  $\lambda/4$  och brytningsindex  $n_f < n_g$ . Vid normalt infall i luft ( $n_i \approx 1$ ) fås ingen reflex om  $n_f = \sqrt{n_g}$ . Antag  $\lambda_0 = 0,550 \mu\text{m}$  och  $n_g = 1,54$ .

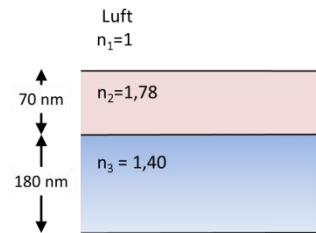
- Beräkna vilket brytningsindex  $n_f$  som ger noll reflex och vilken geometrisk tjocklek skiktet då skall ha.
- Beläggning görs vanligen med  $\text{MgF}_2$  med  $n_f = 1,38$ . Beräkna för detta fall vilken reflektans som erhålles vid normalt infall. Tvåstråleinterferens ger i detta fall acceptabel noggrannhet.
- Beräkna med tvåstråleinterferens vilken reflektans som erhålles med en  $\lambda_0/4$ -beläggning av zirkoniumdioxid ( $n_f = 2,10$ ).

**7.8** En plan yta med brytningsindex 1,70 antireflexbehandlas med ett 305 nm tjock skikt magnesiumfluorid,  $\text{MgF}_2$ , med brytningsindex 1,35.

- Ljus infaller vinkelrätt mot ytan, för vilken synlig våglängd är antireflexbehandlingen gjord? Du behöver bara ta hänsyn till en reflex i vardera ytan. Rita en figur och markera eventuella fäsförskjutningar.
- Om ljuset istället infaller med  $25^\circ$  mot normalen kommer antireflexbehandlingen att fungera som bäst för en annan synlig våglängd. Kommer våglängden som nu reflekteras minst att vara kortare eller längre än svaret i uppgift a?



**7.9** Skalbaggen *Callodes grayanus* har en mycket ovanlig och karakteristisk färg på huvudet och delar av bröstkorgen. Färgen uppstår på grund av interferens i tunna skikt. Anta att huvudets ytterhud består av två lager med olika brytningsindex enligt figuren nedan.



Förutsätt att ljus infaller längs normalen. Bestäm den synliga våglängd som ger konstruktiv interferens i reflekterat ljus. Vilken färg har det reflekterade ljuset?



På vilket sätt påverkas våglängden om ljuset infaller med en vinkel i förhållande till normalen?

**7.10** Nobelpriset 2010 gick till Andre Geim och Konstantin Novoselov<sup>1</sup>

*"för banbrytande experiment rörande det tvådimensionella materialet grafen".*

Geim och Novoselov fick fram grafenet ur en bit grafit, sådant som sitter i blyertspennor. Med vanlig tejp lyckades de få fram en atomtunn grafitflaga och fästa den på en kiselplatta. Kiselplattan var oxiderad vilket betyder att det fanns ett tunt lager kiseldioxid ( $\text{SiO}_2$ ) ovanpå den. När de tittade på plattan i ett optiskt mikroskop såg de att en färg i det synliga området inte reflekterades mot kiseldioxiden, men att den gjorde det på de ställen där det fanns grafen (eftersom grafen absorberar en liten del av ljuset).

Vid det första experimentet var lagret med kiseldioxid 300 nm tjockt<sup>2</sup>, vilken synlig våglängd reflekteras inte vid normalt infall? Du behöver bara ta hänsyn till en reflektion i varje yta. Rita en figur och markera eventuella fasförskjutningar.

(Brytningsindex för kisel är 3,88 och för kiseldioxid är det 1,46.)

**7.11 översikt** En student jobbar i ett laserlab, där hen använder interferensfilter för ljus. Ett sådant filter är konstruerat för att släppa igenom ljus med vissa våglängder,  $\lambda_T$ , samtidigt som det blockerar andra våglängder,  $\lambda_R$ , genom att reflektera dem. Ett riktigt interferensfilter består av många tunna skikt för att få bra undertryckning i de områden som man önskar, men i det här exemplet räknar vi på effekten av ett skikt. Skiktet består av magnesiumfluorid som har ett brytningsindex  $n_2 = 1,38$  och är 840 nm tjockt. Substratet som skiktet ligger på har brytningsindex 1,62.

- Ange ett uttryck för *vilka* våglängder,  $\lambda_R$ , som får maximal reflektans, som funktion av skickets tjocklek. Vilka våglängder inom det synliga området har maximal reflektans? Du får anta normalt infall.
- Ange ett uttryck för *vilka* våglängder,  $\lambda_T$ , som får maximal transmitans, som funktion av skickets tjocklek. Vilka våglängder inom det synliga området har maximal transmitans? Du får anta normalt infall.

<sup>1</sup> Informationen hämtad från <http://nobelprize.org>

<sup>2</sup> Science **306**, 666 (2004)

7.12. Två harmoniska vågor med amplituderna 3,2 och 5,6 interfererar i punkten P på skärmen. Bestäm visibiliteten om

- a) Deras elektriska fältvektorer är parallella?
- b) De är vinkelräta?

7.13. Förhållandet mellan amplituderna hos två strålar som bildar ett interferensmönster är 2/1.

- a) Bestäm visibiliteten.
- b) Vilket förhållande ger en visibilitet på 0,5?

7.14. Två spalter lysas upp med ljus som innehåller två våglängder. En av dem är 549 nm. På en skärm sammanfaller det tredje minimumet för 549 nm ljuset med det andra maximumet för det andra ljuset. Vilken våglängd har det andra ljuset?



7.15. I ett Youngs dubbelspaltsexperiment träffar monokromatiskt ljus två smala spalter 0,22 mm från varandra. Ett diffraktionsmönster uppkommer på en skärm 2,0 m från spalterna. Avståndet mellan femte minimumet på vardera sida om nollte maximumet mäts till 44 mm. Bestäm ljusets våglängd.

7.16. Då glas antireflexbehandlas beläggs det t ex med en tunn film av  $MgF_2$  ( $n = 1,38$ ) som man vill ska vara så tunn som möjligt. För en viss tjocklek på beläggningen fungerar antireflexbehandlingen för ljus som infaller vinkelrätt med våglängden 580 nm. Vilken våglängd är minimalt reflekterad om infallsvinkeln i stället är  $45^\circ$ ?



7.17. **Överkurs** Kom ihåg att en ljusstråles energi är proportionell mot dess amplitud i kvadrat.

- a) Hur mycket ljus med en våglängd  $\lambda = 500$  nm reflekteras från ytan på ett material med brytningsindex 1,40?
- b) Denna yta används som beläggning på glas med brytningsindex 1,60. Hur stor tjockt ska detta skikt vara för att reducera den reflekterade energin via destruktiv interferens?
- c) Hur mycket reflekteras då ytan är belagd med materialet (i procent)?



7.18. **Överkurs** En stråle vitt ljus (dvs ett kontinuerligt spektrum från 400 till 700 nm) infaller med vinkeln  $55^\circ$  på två parallella glasplattor separerade av ett tunt luftskikt på 0,013 cm. Det reflekterade ljuset analyseras sedan med en spektrometer. Hur många mörka linjer syns i spektrat?



## 8. Interferometri

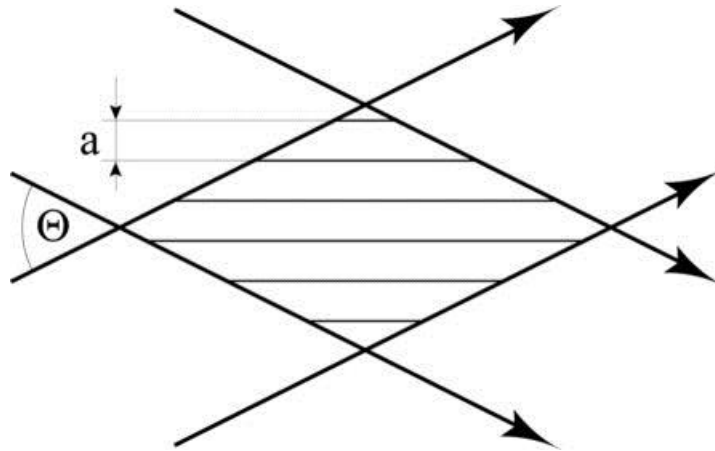
---

**8.1** I en Michelsoninterferometer i luft (brytningsindex  $\approx 1$ ) görs följande varvid källan har våglängden 589 nm.

- Vägskillnaden mellan armarna sätts till noll, varefter den ena spegeln förflyttas 4,0 mm. Finjustering sker till ett centrerat ringmönster, varvid det blir som mörkast i mitten. I vilken vinkel syns då intilliggande mörka ring?
- Injustering sker med en gascell med längden 100 mm i ena armen. Utgående från vakuum sker påfyllning med en gas. När påfyllningen är avslutad har 155 centrala interferensfransar passerat. Beräkna gasens brytningsindex.

**8.2** Vid framställning av holografiska reflektions-gitter beläggs en plan glasyta med en fotoresist och belyses med två korsade laserstrålar, interferensmönstret fotograferas och sedan etsar man ytan. I den här uppgiften ska ni beräkna avståndet mellan ritsarna i det bildade gittret.

De två koherenta och lika starka laserstrålarna med våglängden  $\lambda$  korsas med vinkeln  $\theta$  enligt figuren nedan.



I överlappningsområdet bildas ett interferensmönster bestående av parallella plan med omväxlande hög och låg intensitet. Beräkna avståndet  $a$  mellan intilliggande plan med hög intensitet.

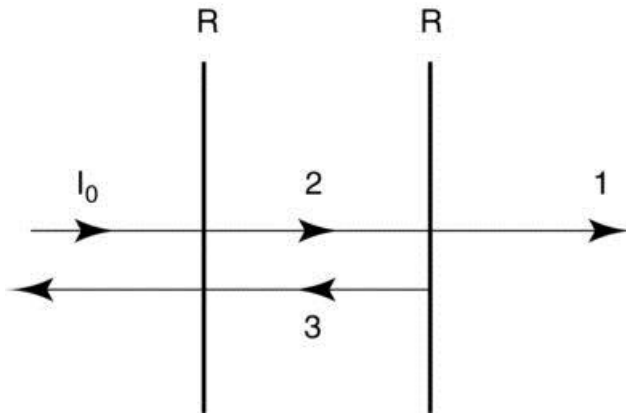
**8.3** En Fabry-Perot interferometer består av två lika glasplattor. Dessa plattor har en yta med reflektans  $R = 0,93$ , medan andra ytan är antireflexbehandlad. De högre reflekterande ytorna har i luft avståndet 5,0 mm. En ljuskälla med våglängden  $0,60 \mu\text{m}$  skall undersökas. Ange

- a fria spektralbredden (för små vinklar) uttryckt i frekvensmått (Hz) och våglängdsmått (m)
- finessen och minsta detekterbara våglängdsskillnad
- om ringstorleken ökar eller minskar när plattavståndet ökar



- d) hur mycket plattavståndet skall ökas för att ringmönstret skall flyttas till nästa interferensordning (små vinklar).

**8.4** En kontinuerlig laserstråle, som kan betraktas som en plan våg inom stråltvärsnittet, har intensiteten  $I_0$  och infaller i luft mot en förlustfri Fabry-Perot interferometer, se figuren nedan. Denna har plana, parallella plattor med reflektansen 0,95 hos de reflekterande ytorna, vilka har ett inställbart avstånd i luft.



Ange intensiteten uttryckt i  $I_0$  för följande lägen och strålriktningar:

- 1) efter interferometern
- 2) mellan interferometerplattorna i framriktningen
- 3) mellan interferometerplattorna i backriktningen

De tre uppgifterna görs för två olika fall, nämligen att interferometerens transmission är maximal och minimal.

**8.5** På American Astronomical Societys 225:e möte i Seattle i måndags presenterades den mest högupplösta bild som någonsin tagits av vår granngalax Andromeda. Bilden motsvarar en tredjedel av galaxen och är sammansatt av 411 individuella bilder vilket leder till totalt 1,5 miljarder pixlar. Bilden är tagen av rymdteleskopet Hubble Space Telescope som har en huvudspegel med diametern 2,4 m och befinner sig på höjden 559 km över jordytan. Om teleskopet isället riktades mot jorden borde det gå att se väldigt små detaljer på jordytan. Hur små detaljer skulle Hubble Space Telescope teoretiskt kunna upplösa på jorden? Bortse från störningar i atmosfären och räkna på en våglängd mitt i det synliga området.

**8.6** Använd bilden nedan för att bestämma kamerans brännvidd och minsta bländartal. Om vi antar att kamerans objektiv begränsar dess upplösning och bortser från aberrationer, hur långt ifrån varandra måste två små objekt som befinner sig 1 m från kameran minst vara för att man skall kunna upplösa dem. Räkna med en våglängd mitt i det synliga området.



**8.7.** Då ena spegeln i en Michelson interferometer flyttas med 0,012 cm, passerar 458 fransar teleskopets hårkors. Beräkna ljusets våglängd.

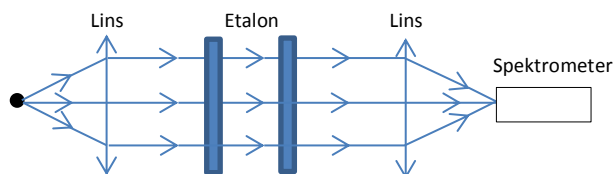
**8.8.** Ett tunt ark fluorit ( $n=1.434$ ) placeras vinkelrätt i den ena strålen i en Michelson interferometer. Bestäm tjockleken på arket om mönstret skiftar med 24 fransar. Ljusets våglängd är 632 nm.

**8.9.** En Michelson interferometer används för att mäta brytningsindex hos en gas. Gasen strömmar till en evakuerad glascell med längd  $L$  placerad i ena interferometerarmen. Våglängden är  $\lambda$ .

a) När trycket ändras från vakuum till lufttrycket räknas  $N$  st. fransar. Bestäm gasens brytningsindex som funktion av  $N$ ,  $\lambda$  och  $L$ .

b) Bestäm antalet fransar som uppkommer om gasen i stället är koldioxid ( $n = 1,00045$ ). Glascellens längd är  $L = 12$  cm och ljusets våglängd är  $\lambda = 589$  nm.

**8.10. Överkurs** Vitt ljus passerar genom en Fabry-Perot interferometer enligt uppställningen i figur 1. Detektorn är en spektrometer. Ett antal ljusa band uppkommer. När ljus från en kvicksilverlampa samtidigt träffar spektroskopspalten hamnar 130 av de ljusa banden mellan den violetta och den gröna spektrallinjen för kvicksilver, dvs. vid 435,8 nm respektive 546,1 nm. Bestäm etalongs tjocklek.

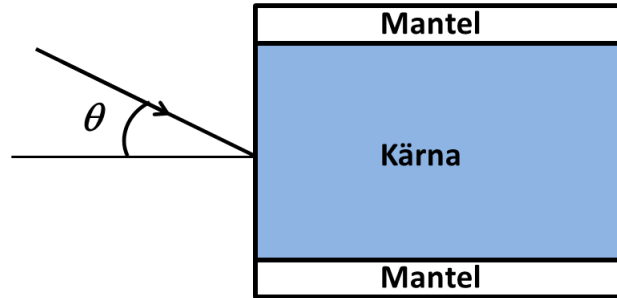


Figur 1: Uppgift 8.10

# 10. Fiberoptik

---

**10.1** Nobelpriset 2009 gick bland annat till Charles K. Kao för hans forskning om hur ljus kan ledas i optiska fibrer. En optisk fiber består av en cylindrisk glaskärna och en skyddsmantel med ett lägre brytningsindex (se figuren). Bestäm vilket brytningsindex kärnan måste ha om den största vinkel  $\theta$  som en infallande stråle kan ha, om ljuset enbart ska utbreda sig i fiberns kärna, är  $45^\circ$ . Skyddsmantelns brytningsindex är 1.32.



**10.2** Brytningsindex för en steg-index fiber är 1,51 för kärnan och 1,45 för höljet. Bestäm

- den kritiska vinkeln.
- den numeriska aperturen.
- den största infallsvinkeln  $\theta_m$  för ljus som totalreflekteras.

**10.3 överkurs** Hur många moder kan fortplantas i en steg-index fiber med  $n_1 = 1,461$  och  $n_2 = 1,456$  vid 830 nm? Kärnradien är 22  $\mu\text{m}$ .

**10.4 överkurs** Beräkna den maximala kärndiametern hos glasfiber så att endast en mod vid våglängden 1,3  $\mu\text{m}$  fortplantas. Antag att  $n_1 = 1,460$  och  $n_2 = 1,457$ .

# 11. Fraunhofer diffraktion

---

**11.1 D** Hur ska mistlurar orienteras för att ljudet ska spridas så brett som möjligt?



**11.2 D** Om man står bredvid en öppen dörr till operan hör man då tenorerna eller basarna bäst?

**11.3 D** I ett rum med ganska svag belysning sitter du så nära en TV att du precis kan urskilja bildpunkterna. Ska du höja eller sänka belysningen om du vill ändra ögats upplösning så att du inte längre ser bildpunkterna.

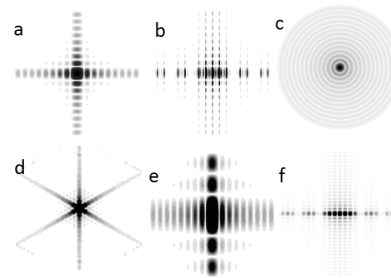
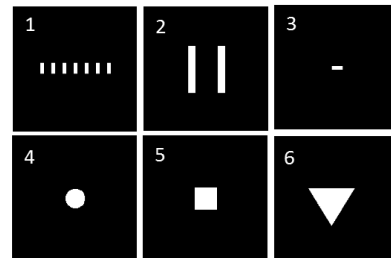
**11.4 D** Enligt bildtexten som hörde till bilden till höger är det ett tydligt interferensmönster som avbildas när solljuset infaller genom den ca 1 cm breda dörrspringan. Kan det verkligen stämma? Motivera.



**11.5** Två närbelägna, parallella spaltöppningar i en skärm *A* belyses med normalt infallande, parallellt laserljus med våglängd 632,8 nm. Interferensmönstret studeras på en annan skärm *B*, placerad parallellt med och bakom skärm *A*. Avståndet mellan skärmarna är 4,00 m.

- På interferensbildens centrala del uppmäts avståndet mellan mittpunkterna av två närliggande ljusa fransar till 2,0 mm. Beräkna mittpunktsavståndet mellan spalterna.
- Den ena spalten täcks över och Du mäter på skärmen avståndet mellan de första ljusminima på båda sidor om centralmaximat, som den kvarvarande spalten ger. Detta avstånd är 28 mm. Beräkna spaltens bredd under förutsättning av Fraunhoferdiffraktion.

**11.6** Sex olika formade hål (delbild 1 till 6) belyses med en laser, och hålets diffraktionsmönster studeras långt borta på en vägg. I delbild a till f ses 6 olika diffraktionsmönster. Para ihop de sex hålen med deras respektive diffraktionsmönster.



**11.7** En högtalare strålar ut ljudet i en allt mindre rymdvinkel ju högre frekvensen blir. För tillräckligt låga frekvenser omfattar centralmaximumet i diffraktionsmönstret  $2\pi$  steradianer (en halvsfär).

- Vilken är den högsta frekvens som återges i en halvsfär av en bashögtalare med diametern 38,1 cm (15 tum)?
- En diskant högtalare med diametern 4,80 cm matas med en sinuston med frekvensen 15 kHz. I vilken eller vilka vinklar räknat från högtalarnormalen blir ljudintensiteten noll?
- 



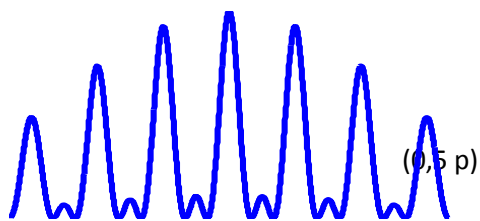
**11.8** En rektangulär öppning med dimensionerna 0,40 mm x 1,00 mm belyses med parallellt, monokromatiskt laserljus med våglängden 0,6328  $\mu\text{m}$ . Omedelbart bakom öppningen placeras en lens med brännvidd 5,0 m och på avståndet 5,0 m från denna en skärm, på vilken diffraktionsmönstret studeras.

Skissa diffraktionsmönstrets utseende. Ange speciellt måtten på den centrala ljusfläcken. På vilket sätt ändras mönstret om linsen avlägsnas?

**11.9** En kollimerad laserstråle infaller med normalt infall mot tre stycken extremt smala, identiska spalter. På en skärm långt borta studeras diffraktionsmönstret som uppkommer. I mitten av mönstret har ljuset intensiteten  $I_{max}$ .

- I en punkt  $P$  på skärmen är intensiteten  $I_P=0$ . Hur stor är fasskillnaden mellan bidrag från angränsande spalter i punkten  $P$ ? (1,0 p)
- Om fasskillnaden i en annan punkt istället är  $\pi$ , hur stor är då intensiteten i förhållande till  $I_{max}$ ? (1,0 p)
- Vilken är intensiteten vid det första huvudmaximumet i förhållande till  $I_{max}$ ?

**11.10** Figuren visar intensitetsfördelningen som registrerats på en skärm då laserljus belyser ett spaltsystem bestående av N spalter.

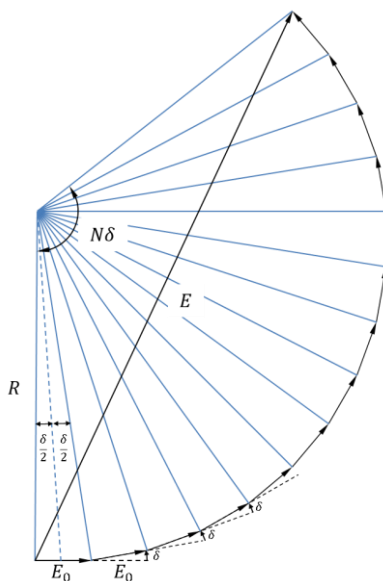


- Hur många spalter belyses?
- I huvudmaximumen kan den totala amplituden beräknas som summan av N amplitudpilar, alla med längden A, som adderas till totalamplituden NA. Vilket fysikaliskt fenomen är det som gör att huvudmaximumen, trots detta, har olika höjd?
- Amplituden för ett huvudmax beräknas som NA, ange uttrycket för intensiteten i ett huvudmax.
- Mellan två huvudmaxima uppstår ett antal intensitetsminima. Försumma effekten som du beskrev i b)-uppgiften. Rita pilarna och ange fasändringen som leder till varje minima.
- Mellan två huvudmaxima uppstår också bimaxima. Försumma effekten som du beskrev i b)-uppgiften. Rita pilarna och ange fasändringen som leder till varje bimax.
- Kommer svaren i d) och e) att ändras om du inte försummar effekten som du beskrev i b)-uppgiften? Om så är fallet beskriv hur.

**11.11 Nyttig, men knepig** Med beteckningar från figuren nedan kan ekvationen för interferens mellan multipla ljuskällor som är koherenta uttryckas:

$$I = I_0 \frac{\sin^2(N\delta/2)}{\sin^2(\delta/2)}$$

Utnyttja figuren för att härleda uttrycket för addition av N stycken koherenta källor.



**11.12** En kollimerad ljusstråle motsvarar grönt kvicksilverljus vid våglängden 546,1 nm och infaller vinkelrätt på en spalt med bredden 0,025 cm. En lins med fokallängden 50 cm placeras bakom spalten. Ett diffraktionsmönster bildas på skärmen placerad i linsens fokus. Bestäm avståndet mellan

a) centralmaximat och första minimum.

b) första och andra minima.

**11.13** Irradiansen i mitten av det centrala Fraunhoferdiffraktionsmaximat för en enkelspalt är  $I_0$  och irradiansen i någon annan punkt på mönstret är  $I$ . Bestäm förhållandet  $I/I_0$  för en punkt på skärmen som är  $\frac{3}{4}$  våglängd längre bort från ena kanten på spalten än den andra.

**11.14** Då man tittar på fjärrfältets diffraktionsmönster från en enkelspalt som belyses av en ljuskälla med varierbar våglängd ser man att femte minimum för en okänd våglängd sammanfaller exakt med fjärde minimum för mönstret då våglängden 625 nm används. Bestäm den okända våglängden.

**11.15** En enkelspalt med bredden  $2,125 \mu\text{m}$  belyses vinkelrätt med en kollimerad ljusstråle med våglängden 530 nm och fjärrfältets diffraktionsmönster studeras. Bestäm

a) vinkelradien för den centrala toppen.

b) Förhållandet  $I/I_0$  vid punkter som bildar vinkeln  $\theta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  och  $30^\circ$  med axeln.

**11.16** Antag att en laserstråle (632,8 nm) med diametern 3 mm är diffraktionsbesgränsad och har en konstant irradians över dess tvärsnitt. Hur långt måste ljusets färdas för att diametern ska bli dubbelt så stor? Betrakta endast spridningen som orsakas av diffraktionen.

**11.17 överkurs** Pupilldiametern hos ett vanligt öga varierar mellan 2 och 7 mm beroende på omgivande ljusvariationer.

a) Bestäm avståndsintervallet där ögat kan urskilja objekt 1 mm från varandra.

b) Experimentera lite och försök hitta avståndsintervallet för vilket  $Du$  kan urskilja linjer 1 mm från varandra. Uppskatta, från resultatet, dina pupillers diameterområde.

**11.18** Sex olika formade hål (delbild **1** till **6** nedan) belyses med en laser, och hålens diffraktionsmönster studeras långt borta på en vägg. I delbild **A** till **H** nedan ses 8 olika diffraktionsmönster. Para ihop de sex hålen med deras respektive diffraktionsmönster (två diffraktionsmönster kommer alltså inte att användas).

(korrekta svar ger **0,5 p**, felaktiga svar ger **-0,5 p**, men du kan inte få mindre än **0,0 p** på uppgiften totalt).

**BILD**



## 12. Diffraktionsgitter

---

**12.1 D** Mätningar i våglängdsområdet 300-2000 Å sker alltid i vakuum. Varför?

**12.2** Ett transmissionsgitter har gitterkonstanten  $2,00 \mu\text{m}$ . Vitt ljus (400-700 nm) får infalla vinkelrätt mot gittret. I vilka vinkelområden (i förhållande till gitternormalen) innehåller det transmitterade ljuset mer än en våglängd?

**12.3** Till ett transmissionsgitter med 1200 ritsar/mm sänds en parallell ljusstråle av våglängd 514 nm med normalt infall. Gittrets effektiva bredd är 10 mm. Beräkna för första transmitterade interferensordningen

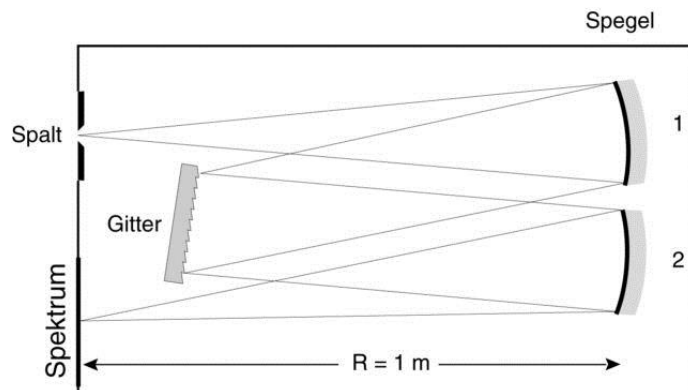
- vinkeln  $\theta$  för principalmaximum
- detta principalmaximums ungefärliga halvvärdesbredd uttryckt som en vinkel  $\Delta\theta$
- vinkeln mellan principalmaximum och intilliggande sekundär-maximum
- kvoten av intensiteten mellan det sekundära maximum och principalmaximum.

**12.4** På laborationen "Polarisation" kommer ni att använda en av de vanligaste (och ur avbildningssynpunkt bästa) spektrografkonstruktionerna för våglängdsområdet över 2000 Å. Denna s.k. Czerny-Turner monteringen består av två konkava speglar och ett plangitter. Antag att gittret har 1200 ritsar/mm och en bredd av 10 cm samt att ljuset infaller med  $10^\circ$  vinkel mot gitternormalen.



- Vad är den teoretiskt minsta linjebredden ( $\Delta\lambda_{\text{teor}}$ ) i första ordningen vid 5461 Å?
- Med plåtfaktorn menas antalet Ångström per mm i första ordningen i det registrerade spektrat. Beräkna plåtfaktorn för  $\lambda = 2000 \text{ Å}$  resp  $5461 \text{ Å}$ .
- Vad blir den minsta linjebredden ( $\Delta\lambda_{\text{exp}}$ ) för våglängden 5461 Å i första ordningen om ingångsspalten är  $50 \mu\text{m}$  bred?
- Den optimala spaltvidden brukar anses vara den vidd, beräknad enl d) som ger samma numeriska resultat som den teoretiska upplösningen. Vilken spaltvidd motsvarar  $\Delta\lambda_{\text{teor}}$  beräknad ovan. Får Du nu  $\Delta\lambda_{\text{teor}}$  ?

Beräkna halvvärdesbredden av spaltens diffraktionsbild vid gittret för denna spaltvidd. Jämför med gitterbredden.



**12.5** Bestäm vinkelavståndet i andra ordningen för ljus med våglängderna 450 nm och 632 nm då de träffar ett gitter med 4000 ritsar/cm.

**12.6** Hur många ritsar måste ett transmissionsgitter ha för att precis kunna lösa upp natriumdubletten (589,592 nm och 588,995 nm) i den första och andra ordningen spektra.

**12.7 överkurs** De två D-linjerna för natrium vid 5893 Å är 6 Å ifrån varandra. Om ett gitter med 500 ritsar används, bestäm

a) den lägsta möjliga ordningen för vilken D-linjerna är upplösta.

b) gittrets bredd.

**12.8** visa att ekvationen  $a(\sin \theta_m - \sin \theta_i) = m\lambda$  är oberoende av brytningsindex även för ett transmissionsgitter. (rita bild)

## 13. Fresnel-diffraktion

---

**13.1** En ljudkälla och en detektor, båda av liten utsträckning, står 16 m från varandra. Mitt emellan dem vill Du placera en skärm med ett cirkulärt hål, som gör att intensiteten för ljud med frekvensen 1000 Hz blir fyra gånger större. Beräkna minsta möjliga radie hos hålet. Ljudets hastighet i luft antags vara 340 m/s. Vilken inverkan har hålet på ljud med frekvens 2000 Hz respektive 1667 Hz?

**13.2** En cirkulär bländare med 3,0 mm radie belyses med monokromatiskt, parallellt ljus med våglängden 500 nm. I punkten  $P$  på symmetriaxeln till bländaren 2,0 m bakom denna har Du en detektor som mäter intensiteten.

Vilken intensitet, uttryckt i intensiteten utan bländare  $I_0$ , kan förväntas i  $P$

- med endast bländaröppningen
- om bländaröppningen förses med en lämplig zonplatta, där varannan zon är ogenomskinlig
- om bländaröppningen förses med en zonplatta med alla zonerna genomskinliga, men så att varannan zon ger en fasändring  $\pi$
- om bländaröppningen förses med en positiv lins med brännvidden 2,0 m?

**13.3** En plan, monokromatisk ljusvåg med våglängd 633 nm infaller vinkelrätt mot en skärm med cirkulär öppning med 4,0 mm diameter. Efter skärmen kommer ljusintensiteten längs den axel som sammanfaller med hålets mitt att variera. Ange avståndet från skärmen av de tre längst bort belägna ljusminima på axeln.

**13.4** En plan, monokromatisk våg från en argonlaser med våglängd 488 nm infaller vinkelrätt mot en ogenomskinlig skärm med en rak kant. Du observerar de båda första intensitetsmaxima utanför den geometriska skuggan på en med skärmen parallell projektduk 4,00 m bakom skärmen. Beräkna avståndet mellan dessa maxima samt deras intensiteter, uttryckta i den intensitet  $I_0$ , som fås utan skärm.

**13.5** En cirkulär bländaröppning belyses med monokromatiskt, parallellt ljus med våglängden 500 nm. I punkten  $P$  som är placerad på symmetriaxeln till bländaren 2,0 m bakom denna har du en detektor som mäter intensiteten.

- Hur stort ska hålet vara för att bara släppa genom en Fresnel-zon?
- Vilken intensitet, uttryckt i  $I_0$  som är intensiteten utan bländare, uppmäts i  $P$  om hålet precis släpper igenom en Fresnel-zon?
- Vilken intensitet, uttryckt i  $I_0$ , uppmäts i  $P$  om en lins med fokallängden 2,0 m placeras i ovanstående hål.



**13.6** I boken finns en härledning på sidan 316 för fokusering med en zonplatta då det inkommande ljuset är plana vågor. Härled ett mer allmänt uttryck då de inkommande vågorna är sfäriska, dvs där ljuskällan är en punkt på avståndet  $p$  från zonplattan och avståndet från zonplattan till fokuspunkten är  $q$  (se till exempel figur 13-2).

**13.7** En Fresnelzonplatta är placerad halvvägs mellan en punktkälla och en skärm, det är 2 cm mellan skärmen och punktkällan.

- c) Om våglängden är 500 nm, vilken radie ska den femte zonen ha?
- d) Vilken intensitet uppmäts på skärmen om zon 1, 3 och 5 används (jämför med en opåverkad stråle)

**13.8 lite godtycklig** Parallella vågor med våglängden 532 nm belyser en cirkulär bländaröppning med diametern 1,2 mm. Bestäm, enligt det vanliga kriteriet, vilken teknik (närfält eller fjärrfält) som bör appliceras på diffraktionsproblemet om detektorn är 25 cm, 50 cm, 1 m eller 5 m från bländaröppningen.

**13.9** Parallella vågor med våglängden 632 nm infaller vinkelrätt mot en cirkulär bländaröppning med diametern 2 mm. En smal fotocell flyttas längs den centrala axeln och registrerar strålens intensitet efter diffraktion. Bestäm positionen för de fyra första maxima respektive minima då fotocellen flyttas närmre skärmen. (Tips: en Fresnelzon ger ett max, två zoner ett min osv)

**13.10** En avlägsen natrium-ljuskälla (589,3 nm) belyser en cirkulär bländaröppning. Då öppningens diameter ökas, kommer irradiansen vid en axiell punkt 2,5 m från öppningen att, alternerande, befinna sig i maxima och minima. Bestäm öppningens diameter som ger upphov till

a) de två första maxima.

b) de två första minima.

**13.11** Parallella och monokromatiska ljusvågor (632 nm) infaller vinkelrätt mot en bländaröppning. En detektor placeras på axeln 45 cm från bländarplanet.

a) Bestäm den första halvperiod-Fresnelzonen med radien  $R_1$ , relativt detektorn.

b) Hur många halvperiod-zoner fås om bländaröppningen är en cirkel med radie 1,2 cm, centrerad på axeln?

c) Bestäm de två första fokallängderna för en Fresnelzonplatta där varannan zon blockeras och radien för den första zonen är  $R_1$ .

**13.12** En Fresnelzonplattas centrala halvzon blockeras. Bestäm diametern hos de tre första klara zonerna sådan att plattan fokuserar parallellt ljus med våglängden 650 nm 35 cm från plattan.

**13.13** För en infallande, plan vågfront, visa att halvperiodzonerna relativt en observationspunkt på ett avstånd  $x$  från vågfronten är ungefär konstant och lika med  $\pi x$ . Antag att  $\lambda/x$  är mycket mindre än 1.

**13.14 överkurs** En spalt belyses med natriumljus (589,3 nm) 50 cm från en rak kant och diffraktionsmönstret observeras med hjälp av fotoelektrisk cell, 98,3 cm bakom den raka kanten. Bestäm irradiansen

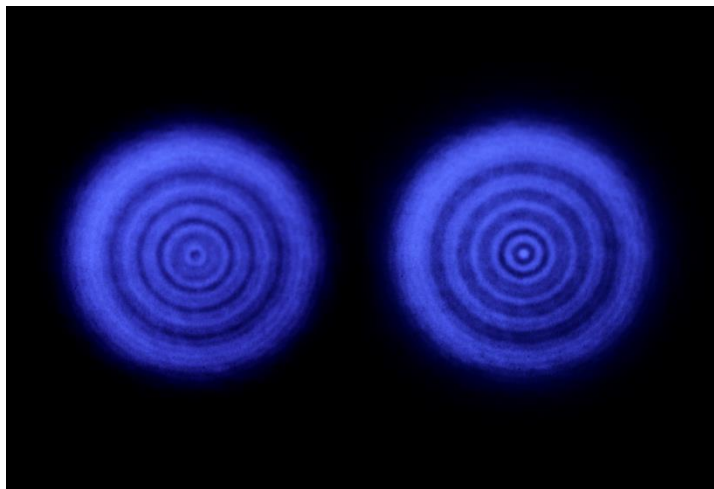
a) två millimeter innanför kanten för den geometriska skuggan.

b) en millimeter utanför kanten för den geometriska skuggan.

**13.15 överkurs** För närfältets diffraktionsmönster orsakad av en rak kant, beräkna irradiansen hos det andra maximat respektive minimat med hjälp av Cornuspiralen och given tabell för Fresnelheltalen.

**13.16** En planvåg med våglängden 405 nm infaller mot ett hål med diametern 1 mm. När detektorn flyttas bort från hålet detekteras ett diffraktionsmönster där mitten omväxlande är

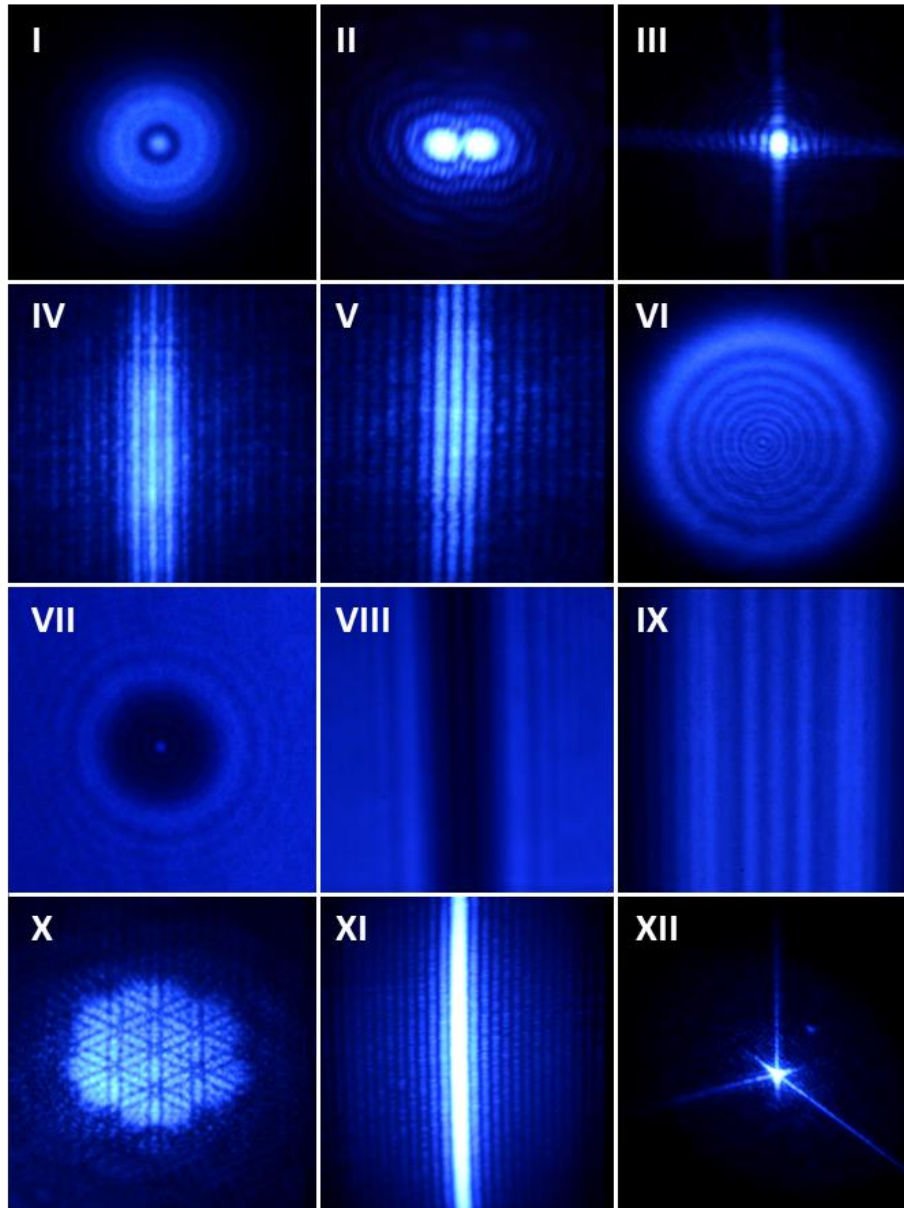
ljus eller mörk (ni ser två exempel i bilden nedan). Vilket är det största avståndet från hålet där man kan observera ett minimum i centrum av diffraktionsmönstret?



**13.17** I bilden nedan visas 12 olika diffraktionsmönster. Para ihop följande 6 beskrivningar med det diffraktionsmönster som bäst stämmer överens med beskrivningen.

- a) Fraunhofer diffraktion från en rektangulär öppning
- b) Poissons prick, dvs Fresnel diffraktion bakom en rund kula
- c) Fraunhofer diffraktion från en spalt
- d) Fresnel diffraktion från en tråd
- e) Fraunhofer diffraktion och interferens från två hål
- f) Fraunhofer diffraktion från en dubbelspalt

Korrekta svar belönas med 0,5 p. Det är möjligt att flera svar är korrekta.



**13.18** Zonplattor används ofta för att göra fokuserande optik för våglängder där refraktiv optik är svår att tillverka, till exempel det extremt ultravioletta området. Där är dock vissa skillnader mellan en zonplatta och en vanlig lens, en skillnad är att en zonplatta fokuserar ljuset på mer än ett ställe. En zonplatta används till att fokusera kollimerat, monokromatiskt ljus med våglängden 50 nm. Zonplattan består av 70 zoner och är designad för att fokusera ljuset 600 mm från plattan, men ytterligare fler fokalpunkter uppkommer. Hur långt från plattan är den näst starkaste och tredje starkaste fokalpunkten?

**13.19** Vid nattseende är en katts pupill en cirkulär öppning med en radie på ca 5 mm. I dagsljus dras pupillen samman till en spalt med bredden ca 1,5 mm.

Ungefär på hur stort avstånd kan katten upplösa två små ljuskällor på 5,0 cm inbördes avstånd i horisontalld i natt- respektive dagseende om upplösningförmågan enbart bestäms av pupillens storlek och form. Anta att våglängden är 589 nm.

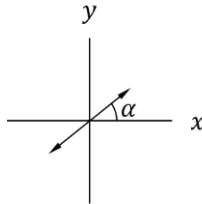


## 14. Matrisrepresentation av polariserat ljus

---

14.1 Skriv den normaliserade Jonesvektorn för linjärpolariserat ljus där vinkeln  $\alpha$  i figuren nedan är:

- a)  $30^\circ$
- b)  $-30^\circ$
- c)  $45^\circ$



14.2 Ange de normaliserade Jones-vektorer för följande vågor och beskriv deras polarisationsfält

a)  $\vec{E} = 2E_0 \cos(kz - wt) \hat{x} - 2E_0 \cos(kz - wt) \hat{y}$

b)  $\vec{E} = E_0 \sin 2\pi \left( \frac{z}{\lambda} - vt \right) \hat{x} + E_0 \sin 2\pi \left( \frac{z}{\lambda} - vt \right) \hat{y}$

c)  $\vec{E} = E_0 \sin(kz - wt) \hat{x} + E_0 \sin \left( kz - wt - \frac{\pi}{4} \right) \hat{y}$

d)  $\vec{E} = E_0 \cos(kz - wt) \hat{x} + E_0 \cos \left( kz - wt + \frac{\pi}{2} \right) \hat{y}$

14.3 Beskriv, så noggrant som möjligt, amplituden, vågriktningen och polarisationstillståndet för följande vågor:

a)  $\vec{E} = 2E_0 \hat{x} e^{i(kz - wt)}$

b)  $\vec{E} = E_0 (3\hat{x} + 4\hat{y}) e^{i(kz - wt)}$

c)  $\vec{E} = 5E_0 (\hat{x} - i\hat{y}) e^{i(kz + wt)}$

14.4 Bestäm egenskaperna hos polariserat ljus efter att ha passerat

- a) en halvvågspatta med den långsamma axeln i  $45^\circ$ .
- b) en linjär polarisator med transmissionsaxel vid  $45^\circ$
- c) en kvartvågspatta med den långsamma axeln horisontellt

Antag att ljuset är vertikalt linjärpolariserat. Använd matriser och analysera de slutliga Jones vektorerna för att beskriva det slutliga ljuset. (Ledtråd: Hitta först vilken effekt enbart halvvågspattan har på ljuset).



**14.5** Ange polarisationsmoden för följande Jonesvektorer

a)  $2 \begin{bmatrix} 3i \\ i \end{bmatrix}$

b)  $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} i \\ 1 \end{bmatrix}$

c)  $\sqrt{2} \begin{bmatrix} 4i \\ 5 \end{bmatrix}$

d)  $\begin{bmatrix} 5 \\ 0 \end{bmatrix}$

e)  $\begin{bmatrix} 2 \\ 2i \end{bmatrix}$

f)  $\begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix}$

g)  $\begin{bmatrix} 2 \\ 6 + 8i \end{bmatrix}$

**14.6** En ljusstråle passerar följande komponenter i den här ordningen:

(1) en linjärpolarisator med TA vriden  $45^\circ$  medurs från vertikala axeln.

(2) En kvartvågsplatta med vertikal SA.

(3) En linjärpolarisator med horisontell TA.

(4) En halvvågsplatta med horisontell FA.

(5) En linjärpolarisator med vertikal TA.

Vilket ljus fås slutligen?

## 15. Polariserat Ljus

---

**15.1 D** En viss ljuskälla ger en blandning av opolariserat och cirkulärpolariserat (t.ex. vänster) ljus. Hur kan Du mäta andelen cirkulärpolariserat ljus i förhållande till den totala intensiteten?

**15.2 D** Varför kan polaroidglasögon ibland helt eliminera reflexer medan vanliga solglasögon bara dämpar samma reflex?

**15.3 D** Bilden nedan är ett fotomontage för att undvika skuggor, men skulle kunna vara ett riktigt foto. Det föreställer två polaroidglasögon som är vridna olika; då de är vridna som det högra paret blir himmeln tydligt mörkare då den ses genom glasögonen – var någonstans är solen i förhållande till bilden (det finns två möjliga svar)? Motivera ditt svar ordentligt och inkludera:

- 1) Vilken polarisation transmitteras genom ett par polaroidglasögon?
- 2) Hur är himmeln polariserad?



**15.4** Mellan två korsade, ideala polarisatorer, som alltså tillsammans inte släpper igenom något ljus, insätts ytterligare en ideal polarisator. Efter den första polarisatorn finns intensiteten  $I_0$ .

- a) Ange intensiteten,  $I$ , ut från systemet som funktion av den insatta polarisatorns transmissionsriktning (vinkel  $\theta$ ) relativt den första polarisatorns transmissionsriktning.
- b) Ange hur  $I$  varierar då den insatta polarisatorn roteras med vinkelfrekvensen  $\omega$ .

**15.5** En plan, linjärpolariserad ljusvåg med intensiteten  $I_0$  infaller mot ett system av perfekta linjärpolarisatorer (dvs. i genomsläppsriktningen antas allt transmitteras, vinkelrätt däremot absorberas allt).



Ange för följande uppsättningar polarisatorer och genomsläpps-riktningar vilken transmitterad intensitet som erhålles: (vinklar räknas åt samma håll och relativt inkommande polarisationsriktning.)

- a) 1 st i  $90^\circ$  vinkel
- b) 2 st i vinklar  $45^\circ$  resp.  $90^\circ$
- c) 3 st i vinklar  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  och  $90^\circ$
- d)  $N$  st i vinklar  $90^\circ/N$ ,  $2 \cdot 90^\circ/N$ ,  $3 \cdot 90^\circ/N$ , ...,  $90^\circ$
- e) Från uppgift d) låt  $N \rightarrow \infty$

**15.6** Två polarisationsfilter är placerade efter varandra och belyses med opolariserat ljus med intensiteten  $I_0$ . Transmissionsriktningen hos de två filtren är vald så att inget ljus kommer igenom. Genom att placera ett tredje polarisationsfilter mellan de två första går det att öka transmissionen.

- c) Hur ska det tredje filtret vara vridet i förhållande till det första polarisationsfiltret för att få så mycket ljus som möjligt ska komma igenom?
- d) Hur mycket ljus går det att som mest få igenom uttryckt i  $I_0$ ?
- e) Hur mycket ljus går det att som mest få igenom uttryckt i  $I_0$  om man istället placerar tre polarisationsfilter mellan de två första?

**15.7** En opolariserad ljusstråle har infallsvinkeln  $50,00^\circ$  till en kalkspat-kristall. Kristallens optiska axel är lagd parallellt med ytan och vinkelrätt mot infallsplanet. Beräkna brytningsvinklarna för den ordinära och den extraordinära strålen i kristallen.

$$n_o = 1,6584, n_e = 1,4864$$

**15.8** Du är på bio och tittar på smurfarna i 3D med en salong full av sockerhöga barn. Efter en stund på bion tröttnar du på 3D smurfar och smiter ut på toaletten. När du ser dig själv i spegeln upptäcker du att du fortfarande har glasögonen på dig och börjar fundera på hur de fungerar.

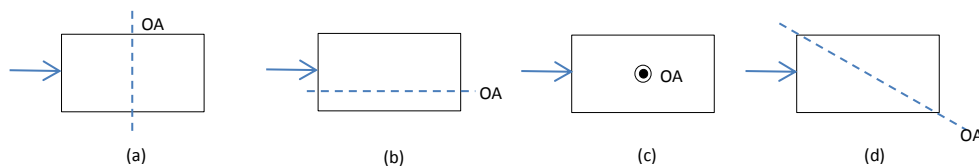
- a. Glasögonen på 3D-bio består av en linjärpolarisator och en kvartsvågsplatta på varje sida. Förklara hur dessa optiska element är placerade för att stereoskopiskt seende ska uppnås.

När du tittar på dig själv i spegeln och blundar med ena ögat blir det ena glasögonglaset i spegelbilden mörkt. Ser du ditt öppna eller ditt slutna öga i spegelbilden? Förklara varför.

**15.9** Opolariserat ljus infaller mot en uppställning med tre linjärpolarisator efter varandra. Polarisorernas transmissionsaxlarna är ställda att vara  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  och  $60^\circ$  relativt horisontella axeln. Bestäm intensiteten för det slutliga ljuset i procent av det infallande ljusets intensitet.

**15.10** Vid vilka vinklar kommer ljus, som reflekterats dels internt och dels externt i gränssytan mellan diamant och luft, bli fullständigt linjärpolariserat? Brytningsindex för diamant är 2,42.

**15.11** Beskriv vad som händer då opolariserat ljus infaller på ett dubbelbrytande material om optiska axeln är vinklad enligt figur 2. Ange om det rör sig om enkel- eller dubbelbrytning samt eventuell fasförskjutning och polarisation av de brutna strålarna.



**Figur 2:** Uppgift 15.5.

**15.12** Ett antal dikroiska polarisatorer finns tillgängliga. Var och en kan antas vara ideal, dvs. att de släpper förbi 50% av det infallande opolariserade ljuset. Låt intensiteten för ljuset som träffar den första polarisatorn vara  $I_0$ .

a) Genom att rita, visa att om du har två polarisatorer vars axlar skiljer sig med vinkeln  $\theta$ , kommer ljuset som transmitteras av paret ges av

$$I = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta$$

b) Hur många procent av det inkommande ljusets energi transmitteras genom paret då transmissionaxlarna har vinklarna  $0^\circ$  respektive  $90^\circ$ .

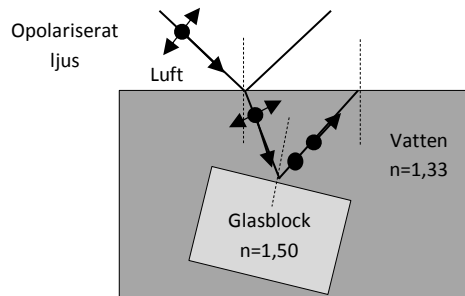
c) Ytterligare 5 polarisatorer placeras mellan de två beskrivna i b) med följande vinklar  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  och  $75^\circ$  i den ordningen. Hur stor del av ljuset passerar nu?

**15.13** Vilken minsta tjocklek bör en bit kvarts ha för att fungera som en kvartvågspatta för våglängden 632 nm i vakuum? Antag att  $n_{\parallel} = 1,5426$  och  $n_{\perp} = 1,5517$

**15.14** Ljus som infaller mot en vattenyta med en vinkel sådan att allt reflekterat ljus är linjärpolariserat.

a) Bestäm infallsvinkeln.

b) Ljuset som bryts i vattnet bryts sedan i övre ytan på ett glasblock med brytningsindex 1,50. Ljuset som reflekteras i glaset är fullständigt linjärpolariserat. Bestäm vinkeln mellan glaset och vattenytan.



Figur 3: Uppgift 15.12.

**15.15 överkurs** a) Ljus med våglängden 396,8 nm passerar ett block kvarts med tjockleken  $t$  och får en optisk rotation på  $10^\circ$ . Bestäm  $t$ .

b) Vilken specifik rotation har kvarts för denna våglängd? Brytningsindex för kvarts vid denna våglängd, för höger- och vänsterpolariserat ljus är  $n_L=1,5821$  respektive  $n_R=1,55810$ .

**15.16** Två polarisationsfilter (polaroider) är placerade efter varandra och belyses med opolariserat ljus med intensiteten  $I_0$  och våglängden 589.3 nm. Transmissionsriktningen hos de båda filtren är vald så att inget ljus kommer igenom. Mellan de båda polaroiderna placeras en tunn platta av Kvarts ( $\text{SiO}_2$ ) (med följande brytningsindex  $n_o=1.5443$  och  $n_e=1.5534$ ) så att ljuset

infaller normalt mot plattans plan. Plattan är slipad så att den optiska axeln ligger i plattans plan.

- a) Hur stor är vinkeln mellan de båda polaroidernas transmissionsriktning?
- b) Hur tjock skall Kvarts-plattan minst vara om man vill att den skall fungera som en halvvågsplatta vid den aktuella våglängden?
- c) Om Kvarts-plattan är en halvvågsplatta, vad skall vinkeln mellan Kvarts-plattans optiska axel och den första polaroidens transmissionsriktning vara om man vill att så mycket ljus som möjligt skall passera den andra polaroiden?
- d) Hur stor blir intensiteten hos det ljus som passerar den andra polaroiden då maximalt med ljus släpps igenom?