

EXPERIMENTELLT PROBLEM 2

DUBBELBRYTNING HOS GLIMMER

I detta experiment ska du mäta graden av dubbelbrytning hos glimmer (en kristall som ofta används i polariserande optiska komponenter).

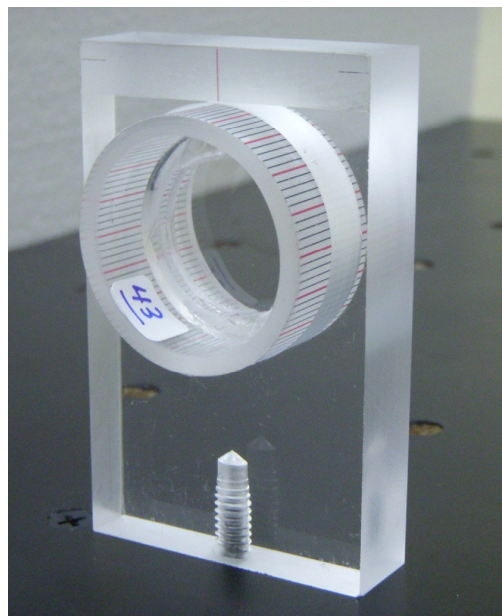
UTRUSTNING

Förutom utrustning 1), 2) och 3), skall du använda:

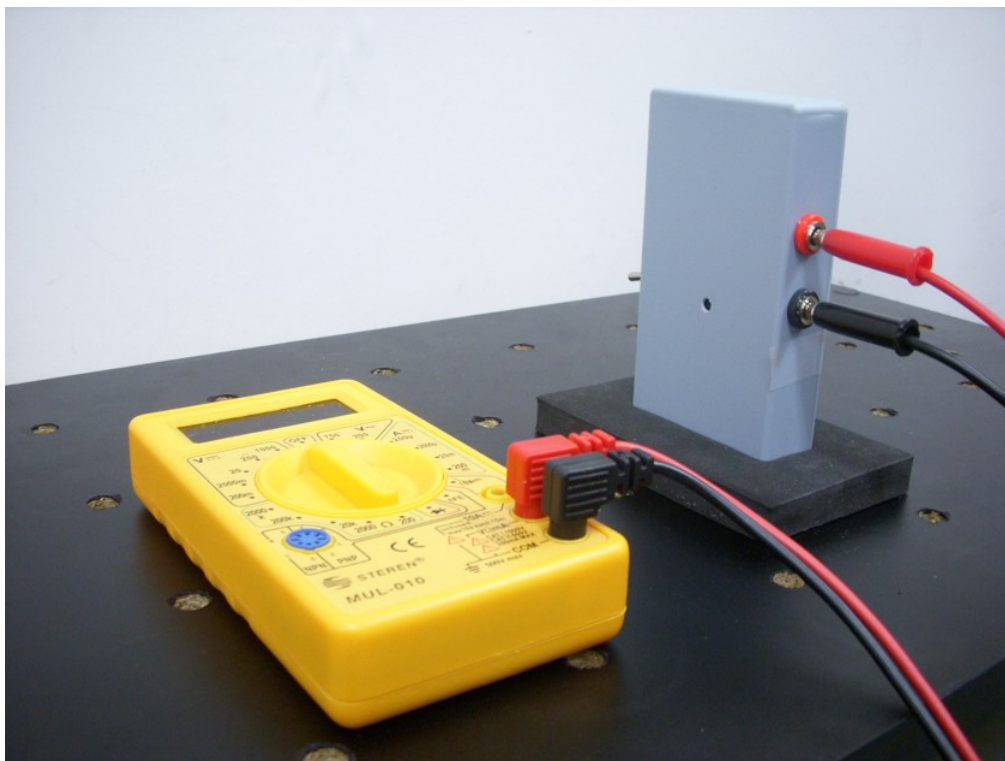
- 14) Två polariserande filmstycken monterade i diabildsramar, med varsitt extra stöd av akrylplast (MÄRKNING J). Se foto för monteringsanvisning.
- 15) En tunn glimmerskiva monterad i en plastcylinder med en onumrerad gradering; ett stöd i akrylplast för cylindern (MÄRKNING K). Se foto för monteringsanvisning.
- 16) Fotodetektorutrustning. En fotodetektor i plastlåda, med anslutningar och stöd av skumplast. En multimeter för att mäta spänningen från fotodetektorn (MÄRKNING L). Se foto för monteringsanvisning.
- 17) Miniräknare.
- 18) Vita kort, maskeringstejp, klisterlappar, sax, vinkellinjaler.
- 19) Blyertspennor, papper, millimeterpapper.



Polarisator monterad i diabildsram med akrylstöd (MÄRKNING K).



Tunn glimmerplatta monterad i cylinder med onumrerad gradering och akrylstöd (MÄRKNING J)

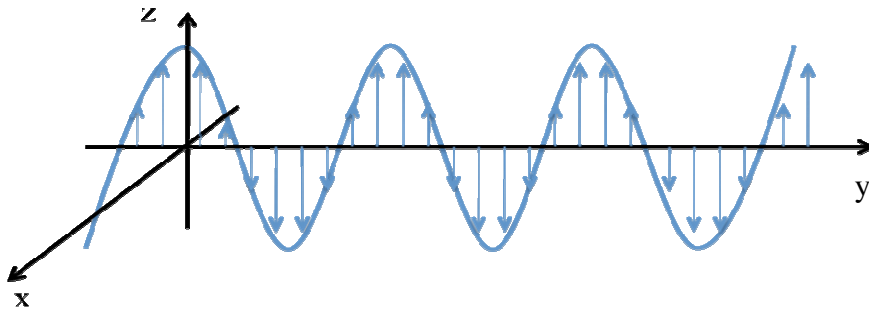


Fotodetektor i plastlåda, anslutningar och stöd av skumplast. Multimeter för mätning av spänning från fotodetektorn (MÄRKNING L). Anslut på visat sätt.

BESKRIVNING AV FENOMENET

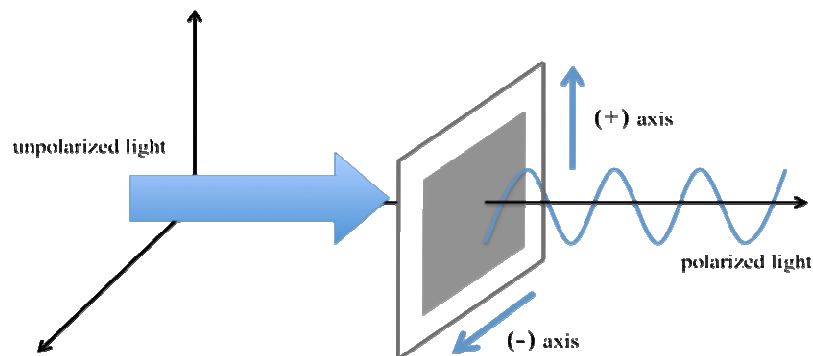
Ljus är en transversell elektromagnetisk våg, med det elektriska fältet i ett plan vinkelrätt mot utbredningsriktningen, och oscillerande i tid allteftersom vågen utbreder sig.

Om det elektriska fältet oscillerar längs en *konstant riktning*, sägs vågen vara linjärt polariserad. Se Figur 2.1.



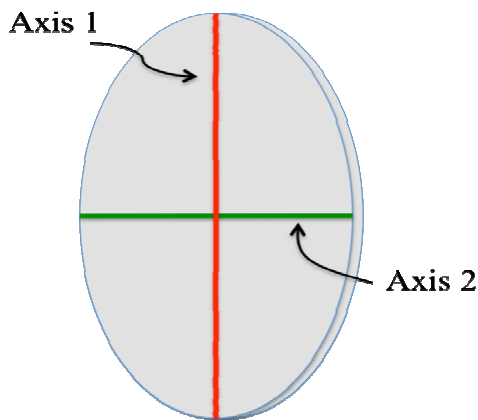
Figur 2.1 En våg som färdas i y-riktningen och är polariserad i z-riktningen.

En polariserande film (en polarisator) är ett material med en favoriserad axel parallell med dess yta, så att transmittat ljus kommer ut polariserat längs polarisatorns axel. Beteckna med (+) den favoriserade axeln, och med (-) den vinkelräta axeln.



Figur 2.2 Opolariserat ljus normalt inkommande mot en polarisator. Transmitterat ljus är polariserat i polarisatorns (+)-riktning.

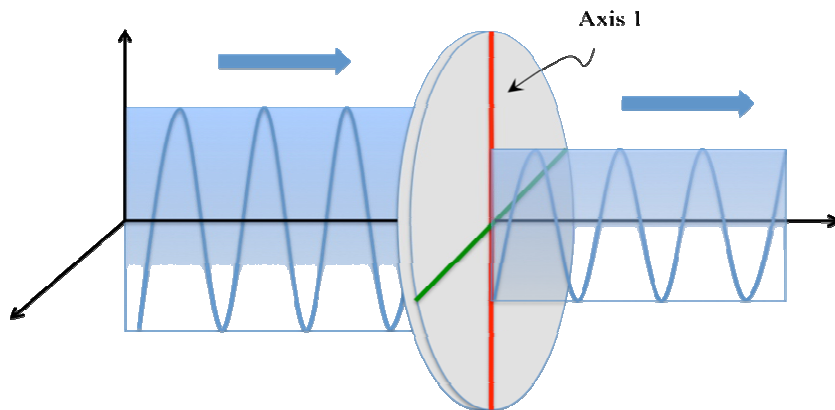
Vanliga genomskinliga material (som fönsterglas) transmittar ljus med oförändrad polarisation, eftersom brytningsindex inte beror på riktningen eller polarisationen hos den inkommande vågen. Många kristaller, inklusive glimmer, är dock känsliga för riktningen hos vågens elektriska fält. Vid utbredning vinkelrätt mot dess yta, har glimmerskivan två karakteristiska, sinsemellan vinkelräta axlar (huvudaxlar), som vi ska kalla Axel 1 och Axel 2. Detta leder till det fenomen som kallas dubbelbrytning.



Figur 2.3 En tunn skiva glimmer med sina huvudaxlar, Axel 1 (röd) och Axel 2 (grön).

Låt oss analysera två enkla fall för att illustrera dubbelbrytning. Antag att en **vertikalt polariserad** våg inkommer vinkelrätt mot en av ytorna på en tunn skiva glimmer.

Fall 1) Axel 1 eller Axel 2 är parallell med den inkommande vågens polarisation. Den transmitterade vågen passerar utan att ändra sitt polarisationstillstånd, men utbredningen sker som om materialet hade brytningsindex n_1 eller n_2 . Se Fig. 2.4 och 2.5.



Figur 2.4 Axel 1 är parallell med polarisationen hos den inkommande vågen. Brytningsindex är n_1 .

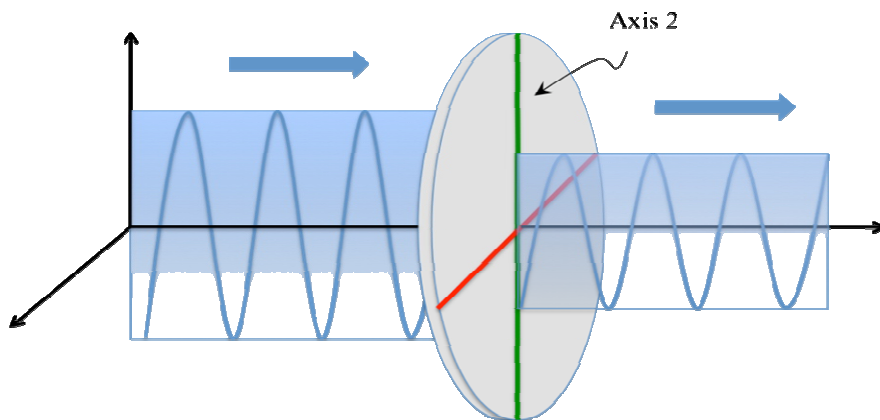
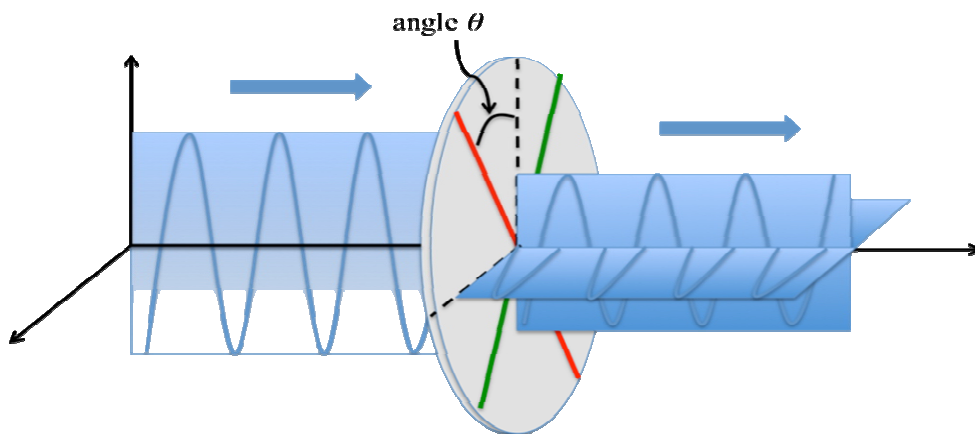


Figure 2.5 Axel 2 är parallell med polarisationen hos den inkommande vågen. Brytningsindex är n_2 .

Fall 2) Axel 1 bildar en vinkel θ med polarisationsriktningen hos den inkommande vågen. Det transmitterade ljuset får ett mer komplicerat polarisationstillstånd. Det kan emellertid ses som en *superposition* (överlagring) av två vågor med olika faser, en som är polariserad **parallellt** med den inkommande vågens polarisation (dvs. "vertikalt") och en annan som är polariserad **vinkelrätt** mot den inkommande (dvs. "horisontellt").



Figur 2.6 Axel 1 bildar en vinkel θ med polarisationen hos den inkommande vågen. Låt I_p vara *intensiteten* hos den del av den transmitterade vågen som är *parallell* med polarisationen hos den inkommande vågen, och I_o *intensiteten* hos den del som är *vinkelrät*. Dessa intensiteter beror på vinkeln θ , på ljuskällans våglängd λ , på den tunna plattans tjocklek L , och på beloppet av skillnaden i brytningsindex, $|n_1 - n_2|$. Den senare kvantiteten kallar vi materialets *dubbelbrytningsgrad*. Mätning av denna kvantitet utgör målet med detta problem. I kombination med med polarisatorer är dubbelbrytande material användbara för att kontrollera polarisationstillståndet hos ljus.

Vi vill här påpeka att fotodetektorn mäter intensiteten hos det ljus som inkommer mot den, oberoende av polarisation.

Beroendet hos $I_p(\theta)$ och $I_o(\theta)$ på vinkeln θ är komplicerat på grund av andra effekter som inte behandlas här, såsom absorption av inkommande ljus i glimmer. Man kan dock erhålla approximativa men mycket enkla uttryck för de normerade intensiteterna $\bar{I}_p(\theta)$ och $\bar{I}_o(\theta)$, definierade som

$$\bar{I}_p(\theta) = \frac{I_p(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.1)$$

och

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{I_o(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.2)$$

Det kan visas att de normerade intensiteterna (approximativt) ges av

$$\bar{I}_p(\theta) = 1 - \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.3)$$

och

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.4)$$

där $\Delta\phi$ är fasskillnaden mellan de parallella och vinkelräta transmitterade komponenterna. Denna kvantitet ges av

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad (2.5)$$

där L är tjockleken hos den tunna glimmerskivan, λ våglängden hos den inkommande vågen och $|n_1 - n_2|$ dubbelbrytningsgraden.

EXPERIMENTUPPSTÄLLNING

Uppgift 2.1 Experimentuppställning för att mäta intensiteter. Sätt upp ett experiment för att mäta intensiteterna I_p och I_o hos den transmitterade vågen, som funktion av vinkeln θ mot godtycklig huvudaxel, enligt Fig. 2.6. *Gör detta genom att skriva MÄRKNINGEN för de*

olika komponenterna på ritningen över uppställningen. Använd konventionen (+) och (-) för polarisatorernas riktning. Du kan vid behov göra ytterligare klargörande ritningar.

Uppgift 2.1 a) Experimentuppställning för I_p **(0,5 poäng)**.

Uppgift 2.1 b) Experimentuppställning för I_o **(0,5 poäng)**.

Injustering (upplinjering) av laserstrålen. Justera laserstrålen så att den blir parallel med bordet och träffar mitt i cylindern som håller glimmerskivan. Använd gärna de vita korten för att följa strålen. Små justeringar kan göras med den rörliga spegeln.

Fotodetektor och multimeter. Fotodetektorn ger en spänning när ljus infaller på den. Mät denna spänning med multimetern. Spänningen är proportionell mot ljusintensiteten. Redovisa alltså intensiteterna som den spänning fotodetektorn ger. Utan laserstråle kan du mäta bakgrundsljuset; detta bör dock ge en spänning på under 1 mV. *Korrigerad därför inte för denna bakgrund vid dina mätningar.*

WARNING: Laserstrålen är delvis polariserad men i okänd riktning. Välj därför att placera polarisatorn med antingen (+)- eller (-)-axeln vertikalt, för att få maximal transmitterad intensitet i frånvaro av övriga komponenter.

MÄTNING AV INTENSITETER

Uppgift 2.2 Gradering för vinkelinställning. Cylindern som håller glimmerskivan har en likformig gradering för vinkelinställning. Anteckna värdet i grader på graderingens minsta intervall (dvs. mellan två närliggande svarta streck). **(0,25 poäng)**.

Att (approximativt) finna nollpunkten för θ och/eller glimmerskivans huvudaxlar. För att underlätta analysen, är det mycket viktigt att hitta en approximativ nollpunkt för vinklarna. Vi föreslår att du först identifierar läget på Axel 1, som nästan säkert inte sammanfaller med ett streck på cylinderns gradering. Betrakta alltså det närmaste gradstreck som ett provisoriskt origo för vinklarna. Beteckna med $\bar{\theta}$ vinklar mätta relativt ett sådant origo. Nedan kommer du att få göra en justering av nollpunkten för θ .

Uppgift 2.3 Mätning av I_p och I_o . Mät intensiteterna I_p och I_o för så många värden på $\bar{\theta}$ som du finner nödvändigt. Redovisa dina mätningar i Tabell I. Försök göra mätningarna av varje par I_p och I_o för *samma* läge på cylindern med glimmerskivan, dvs. för en *fix* vinkel $\bar{\theta}$. **(3,0 poäng)**.

Uppgift 2.4 Bestämning av en approximativ nollpunkt för θ . Läget av Axel 1 definierar värdet noll på vinkeln θ . Som nämndes ovan kommer Axel 1 nästan säkert inte att sammanfalla med ett graderingsstreck på glimmercylindern. För att hitta vinklarnas nollpunkt, kan du använda antingen en grafisk eller en numerisk metod. Notera att sambandet nära ett maximum eller minimum kan approximeras med en parabel:

$$I(\bar{\theta}) \approx a\bar{\theta}^2 + b\bar{\theta} + c$$

där minimum eller maximum hos parabeln ges av

$$\bar{\theta}_m = -\frac{b}{2a}.$$

Båda valen ger upphov till en förskjutning $\delta\bar{\theta}$ av alla dina värden på $\bar{\theta}$ givna i Tabell I i Uppgift 2.3, så att de nu kan skrivas om som vinklar θ från den riktiga nollpunkten, $\theta = \bar{\theta} + \delta\bar{\theta}$. Ange värdet på $\delta\bar{\theta}$ i grader. **(1,0 poäng).**

DATAANALYS.

Uppgift 2.5 Att välja lämpliga variabler. Välj $\bar{I}_p(\theta)$ eller $\bar{I}_o(\theta)$ i en analys för att finna fasskillnaden $\Delta\phi$. Identifiera de variabler du kommer att använda. **(0,5 poäng).**

Uppgift 2.6 Dataanalys och fasskillnaden.

- Använd Tabell II för att ange värdena på de variabler som behövs för analysen. Se till att du använder korrigerade värden på vinkeln θ . Ta med felgränser. Använd millimeterpapper för att plotta dina variabler. **(1,0 poäng).**
- Gör en analys of de data som behövs för att erhålla fasskillnaden $\Delta\phi$. Redovisa dina resultat med felgränser. Ange alla ekvationer och formler som du använt. Plotta dina resultat. **(1,75 poäng).**
- Beräkna värdet på fasskillnaden $\Delta\phi$ i radianer, i intervallet $[0, \pi]$, och ange felgränser. **(0,5 poäng).**

Uppgift 2.7 Beräkning av dubbelbrytningsgraden $|n_1 - n_2|$. Notera att om du lägger till $2N\pi$ till fasskillnaden $\Delta\phi$, med N ett godtyckligt heltal, eller om du byter tecken på fäsen, blir intensiteterna oförändrade. Emellertid kommer värdet på dubbelbrytningsgraden $|n_1 - n_2|$ att ändras. För att använda det värde på $\Delta\phi$ du fann i Uppgift 2.6 för att korrekt beräkna dubbelbrytningsgraden, måste du ta hänsyn till följande:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{om} \quad L < 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$

eller

$$2\pi - \Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{om} \quad L > 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$

där L är värdet på glimmerskivans tjocklek, som står angivet på dess cylindriska hållare. Detta tal anges i mikrometer (1 mikrometer = 10^{-6} m). Tilldela L osäkerheten 1×10^{-6} m. För laserns våglängd kan du välja värdet du fick i Problem 1, eller medelvärdet av 620×10^{-9} m och 750×10^{-9} m, dvs. det röda området av det synliga spektrum. Redovisa värdena på L och λ samt dubbelbrytningsgraden $|n_1 - n_2|$ med felgränser. Redovisa också de formler du använt för att beräkna felgränserna (**1,0 poäng**).