

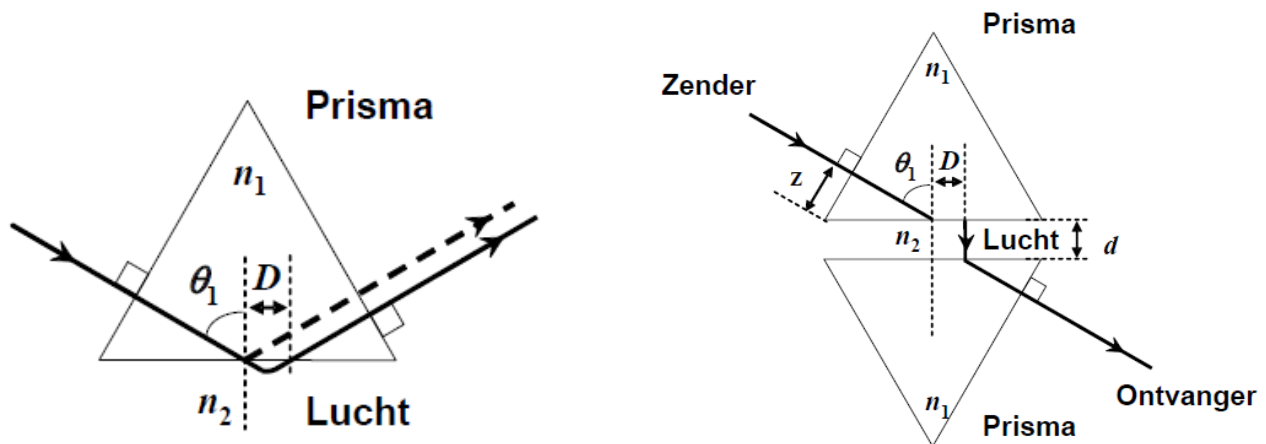
Optische tunneling met microgolven

Leerlinghandleiding

Inleiding

Als lichtgolven van een optisch dicht medium naar optisch dun medium (hoge naar lage brekingsindex) lopen, dan treedt op het grensvlak tussen deze twee media reflectie op, zie Figuur 1. Als de golven onder voldoende grote hoek θ_1 ten opzichte van de normaal invallen, vindt volledige reflectie plaats. Je kunt dit fenomeen waarnemen als je in het zwembad onder water duikt. Als je naar boven kijkt, dan kun je de mensen die aan de waterkant zitten niet zien.

Deze zogenaamde totale interne reflectie (TIR) wordt vandaag de dag toegepast bij optische fibers: licht reflecteert op de buitenwand van de fiber volledig terug in de kern, waardoor er nauwelijks verliezen in de fiber optreden.



Figuur 1 Links: een lichtbundel die invalt onder voldoende grote hoek θ_1 wordt volledig gereflecteerd als $n_1 > n_2$. Rechts: wanneer een tweede medium optisch dicht medium dichtbij het eerste wordt geplaatst, vindt er geen volledige reflectie meer plaats.

De reflectie vindt echter niet exact op het grensvlak plaats, maar in een gebied *achter* het grensvlak in het optisch dunne medium. De dikte van dit gebied is van de orde van de golflengte van het licht. Als je nu een tweede optisch dicht medium nabij het grensvlak brengt, dan plant een gedeelte van het licht zich in dit medium voort en is de reflectie niet meer volledig. De golf “tunnelt” als het ware van het ene optisch dichte medium naar het andere optisch dichte medium *door* het optisch dunne medium. De hoeveelheid straling, die niet gereflecteerd wordt, neemt bij benadering exponentieel af met de afstand tussen de twee optisch dichte media.

Dit effect wordt gefrustreerde TIR genoemd. Gefrustreerde TIR wordt bijvoorbeeld gebruikt om bundel-splitsers te maken, waarmee licht in tweeën gesplitst kan worden met een gewenste verdeling in intensiteit. In sommige *touch screens* wordt het gebruikt om de positie van je vinger op het scherm te bepalen.

Deze tunneling is een klassiek analogon van quantummechanische tunneling. Quantum-mechanische deeltjes kunnen, hoewel hun energie onvoldoende is om over een berg te gaan, toch aan de andere kant van de berg opduiken. Ze bewegen zich als het ware in een gebied, dat klassiek verboden is. Het fenomeen van quantumtunneling verklaart waarom in het geval van radioactieve isotopen levensduren vele orden van grootte kunnen verschillen.

Verder vindt het een zeer praktische toepassing in het geval van een scanning tunneling microscope (STM). Hier wordt de sterke (exponentiële) afhankelijkheid van de stroom tussen de naald van de STM en een oppervlak gebruikt om het oppervlak in kaart te brengen. Bijzonder aan quantumtunneling is dat het deeltjes (massa's) betreft, terwijl bij optisch tunnelen het alleen gaat over golven (energie). Maar in de quantum-mechanica kunnen we het gedrag van deeltjes goed beschrijven als een golf, ook wel de golf functie genoemd, en de beschrijving van quantumtunneling wordt daarmee vrij analoog aan optisch tunnelen.

In dit experiment ga je optische tunneling bestuderen met golven, die een golflengte hebben van enkele centimeters (dit is van de orde van de straling in een magnetron). Straling in het zichtbare gebied heeft een golflengte kleiner dan een micrometer en daarmee is het moeilijk om gecontroleerd twee media op een afstand van de orde van een golflengte te plaatsen. Voor cm golven is dat echter geen probleem. Eerst bepaal je met een interferentie-experiment de golflengte van de cm-golven. Vervolgens bepaal je de doorgelaten intensiteit als functie van de afstand tussen twee optisch dichte prisma's van paraffine, en vergelijkt met het verwachte exponentiële gedrag. Je leert hoe je daarmee een theoretische voorspelling kan bevestigen of falsificeren door een experiment en dit proces ligt in het hart van de wetenschap.

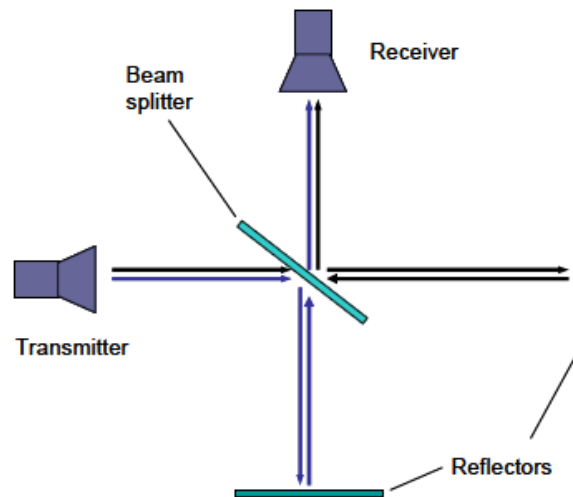
Materiaallijst

- Breadboard met houders en meetlat
- Microgolvenzender
- Microgolfontvanger
- Perspex plaatje (beamsplitter) in houder
- 2 metalen schermen (reflectoren)
- 2 paraffineprisma's in houder
- Eurolab met spanningsaansluiting
- Weerstand (ca. 100 k)

Aandachtspunten opstelling

- **Kijk nooit in de zender, ook al is de intensiteit minimaal het is nog steeds gevaarlijk voor je ogen om er langer van dichtbij in te kijken.**
- Wees voorzichtig met de paraffine prisma's, want deze zijn kwetsbaar.
- Zorg dat de ontvanger in de stand 'LO' staat.
- Zet niet gebruikte onderdelen uit de buurt van je opstelling om zo allerlei reflecties te voorkomen.
- De ontvanger werkt op batterijen, zet hem uit als je niet aan het meten bent.

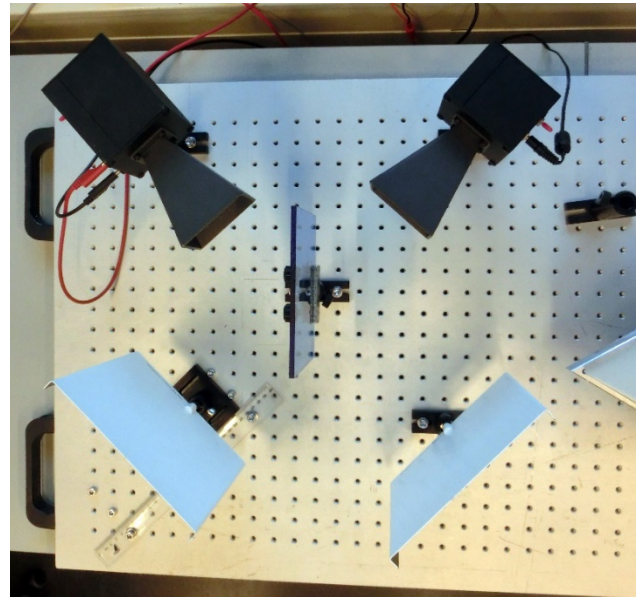
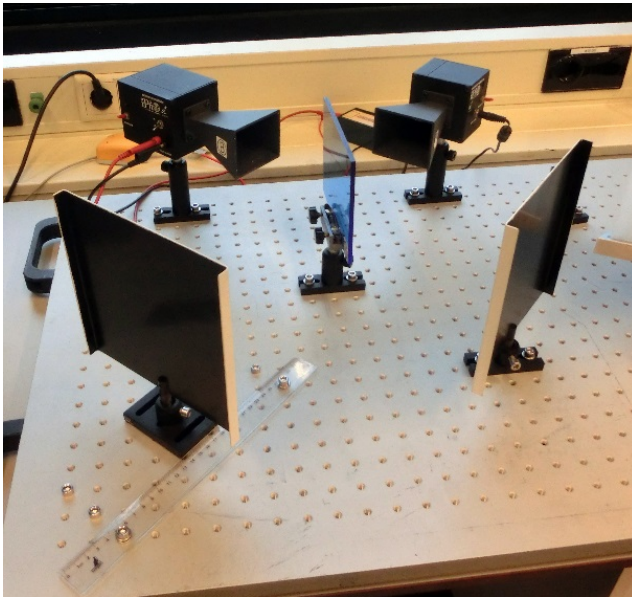
- De metingen aan de microgolven werkt met het programma **Bepaling Microgolven** dat je vindt onder: *Startmenu > Julius Programs > Up² > Quantum*
- De metingen aan de tunneling werkt met het programma **Quantumtunneling** dat je vindt onder: *Startmenu > Julius Programs > Up² > Quantum*



Figuur 2 Een Michelson-interferometer

Onderdeel 1: Bepalen van de golflengte

Figuur 2 geeft schematisch een Michelson-interferometer weer. In een Michelson interferometer splitst een halfdoorlatende spiegel (*beam splitter*) de inkomende golfintensiteit in tweeën. Deze delen worden na reflectie weer bij elkaar gebracht en interfereren dan met gelijke intensiteit op de ontvanger. De sterkte van het signaal op de ontvanger hangt af van het faseverschil tussen de twee golven; door het weglengteverschil tussen de paden te veranderen, verandert de gemeten signaalsterkte. Door minima en maxima te tellen als functie van de verplaatsing van één van de reflectoren, kan de golflengte λ van de straling bepaald worden.



Figuur 3: Michelson-interferometer in zijaanzicht (links) en bovenaanzicht (rechts)

Opdracht

- Bouw met de componenten in de onderdelenlijst een Michelson-interferometer zoals in Figuur 3 weergegeven. Merk op dat de ‘dunne film’ halftransparant is. Zorg er voor dat je er niet achter gaat staan, omdat dit je metingen beïnvloedt. Probeer de verschillende onderdelen netjes te oriënteren (halfdoorlatende spiegel op 45 graden, reflectoren loodrecht op de bundels, etc.)
 - Stel dat je een maximum waarneemt op de detector. Hoe ver moet de reflector verplaatst worden om het eerstvolgende maximum waar te nemen? En hoe ver voor het eerstvolgende minimum?
-
-

- Verschuif van één van de reflectoren over een afstand van maximaal 10 cm en tel daarbij het aantal maxima en minima in intensiteit dat optreedt tijdens het verschuiven.
 - Gebruik de getelde minima/maxima en de gemeten verplaatsing om de golflengte λ van de straling te berekenen.
-
-
-

Onderdeel 2: Meten aan optische tunneling

Je gaat nu de tunneling onderzoeken. Hiervoor bouw je de opstelling die is getoond in Figuur 4. Eén van de paraffine prisma's kan op een gecontroleerde manier worden verplaatst. Het deel van de golfintensiteit dat buiten het eerste prisma treedt, kan worden opgevangen door het tweede prisma en zich daarin verder voortplanten. De doorgelaten intensiteit $I(d)$ neemt exponentieel af met de afstand d tussen de prisma's:

$$I(d) = I_0 e^{-d/\delta}$$

Hier is δ een constante die o.a. afhangt van de golflengte en de brekingsindex van de verschillende materialen.

Opdracht

- Waarom gebruik je eigenlijk prisma's?
-
-

