



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Light in complex dielectrics

Schuurmans, F.J.P.

Publication date
1999

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Schuurmans, F. J. P. (1999). *Light in complex dielectrics*. [Thesis, fully internal, Universiteit van Amsterdam].

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

De omslag van dit proefschrift laat een zonsopgang aan een Canadees meer zien. Het zonlicht baant zich een weg door de mist die tussen de bomen aan de overkant van het meer hangt. Mist is een verzameling van heel veel kleine waterdruppeltjes, die ieder het licht van de zon verstrooien. Met verstrooien wordt bedoeld dat een deel van het licht dat bij het druppeltje aankomt wordt weerkaatst of afgebogen in een willekeurige richting. Als de mist maar dik genoeg is, dan wordt het licht meerdere keren achter elkaar verstrooid alvorens het ons oog bereikt. Dit wordt meervoudige verstrooiing genoemd, en heeft als resultaat dat het zonlicht *diffuus*, zonder voorkeursrichting, uit de wolk komt. Licht in mist is een goed voorbeeld van “licht in complexe diëlectrica”, het onderwerp van dit proefschrift.

Een diëlectricum bestaat uit atomen en/of moleculen en is meestal transparant, oftewel het absorbeert geen licht. De snelheid waarmee het licht door zo'n diëlectrisch medium reist is lager dan in vacuum, daar waar geen atomen zijn. Deze vertraging van het licht wordt beschreven door de *brekingsindex*, die de verhouding van de lichtsnelheid in vacuum ten opzichte van die snelheid in het medium aangeeft. Verschillende diëlectrica kunnen verschillende brekingsindices hebben, afhankelijk van het type atomen (moleculen) waaruit ze bestaan en hun dichtheid. De atomaire oorsprong van de brekingsindex wordt nader toegelicht in hoofdstuk 2.

Met complex wordt bedoeld samengesteld, omvattend. Dat wil zeggen dat een complex diëlectricum is samengesteld uit twee of meerdere diëlectrica. De mistbank is daarvan een voorbeeld, bestaande uit de diëlectrica lucht en water, waarvan de brekingsindices verschillend zijn. Juist dit verschil in brekingsindex zorgt ervoor dat licht verstrooid wordt in mist.

In dit proefschrift worden twee onderwerpen die te maken hebben met het gedrag van licht in complexe diëlectrica behandeld: verandering van spontane emissie en Anderson localisatie van licht.

Wat is spontane emissie? Atomen en moleculen kunnen licht absorberen. Ze slaan dan tijdelijk energie uit het lichtveld op om die eventueel later weer in de vorm van licht uit te zenden. Hoe lang het duurt voordat het atoom zijn teveel aan energie weer uitzendt berust op toeval en gebeurt spontaan. Dit verschijnsel wordt dan ook spontane emissie genoemd. Wel is het zo dat ieder atoom zijn eigen karakteristieken heeft. Dit houdt in dat zowel de kleur, oftewel de golflengte, van het spontaan geëmitteerde licht hoort bij het soort atoom, alsook de *gemiddelde* tijd die het duurt tussen het tijdstip van absorptie en emissie. Deze gemiddelde tijd noemt

men de spontane emissie levensduur en kan variëren van zo'n één-miljardste seconde (1 nanoseconde) tot wel enkele minuten. Zoals gezegd is deze levensduur karakteristiek voor een atoom, maar dat wil niet zeggen dat deze niet beïnvloed kan worden. Bijvoorbeeld de levensduur van hetzelfde molecuul in vacuum of in een diëlectricum is al verschillend. De verandering van de spontane emissie levensduur van een atoom in een diëlectricum met gegeven brekingsindex wordt voorspeld door de theorie beschreven in hoofdstuk 3.

De experimenten om deze theorie te toetsen worden uiteen gezet in de hoofdstukken 4 en 5. Een probleem in dit soort experimenten is dat wanneer het atoom energie van het lichtveld heeft geabsorbeerd, het niet altijd zo is dat deze energie ook weer als licht uitgezonden wordt. Het is ook mogelijk dat de opgeslagen energie wordt omgezet in warmte, hetgeen de vergelijking van experiment en theorie een stuk lastiger maakt. Het is dus zaak een combinatie van stralend atoom en diëlectricum te vinden waarin al het geabsorbeerde licht ook weer uitgezonden wordt. In de metingen beschreven in hoofdstuk 4 is het stralend atoom europium en het diëlectrische medium een serie van verschillende soorten alcoholen met variërende brekingsindex. Europium wordt veel gebruikt in tv's en tl-buizen voor het rode licht dat het uitzendt. In dit experiment is het europium atoom ingepakt in een kleine, moleculaire kooi. Dit heet een europium complex. De kooi moet het europium atoom beschermen tegen ongewenste invloeden van het diëlectricum. Het blijkt dat de spontane emissie levensduur van dit europium complex in alcohol niet alleen afhangt van de brekingsindex, maar dat het type alcohol toch ook een rol speelt. Een vergelijking van experiment en theorie was dan ook niet haalbaar. Het was dus nodig een nieuwe methode te bedenken waarmee het mogelijk is de brekingsindex van het diëlectricum te veranderen zonder dat het type molecuul waaruit het diëlectricum bestaat verandert. Het resulteerde in de keuze voor hetzelfde europium complex in nu een dicht gas van koolstof dioxide (CO_2) moleculen als diëlectricum, onder variërende druk. Bij hogere druk is de dichtheid van de CO_2 moleculen hoger en dus ook de brekingsindex, terwijl het soort molecuul onveranderd blijft. De typische stralende levensduur van europium is rond één-duizendste van een seconde (1 milliseconde), en bleek korter te worden naarmate de brekingsindex van het omringende dichte CO_2 gas groter werd. Deze keer kon de vergelijking van experiment en theorie wel gemaakt worden: de spontane emissie levensduur van een atoom in een diëlectricum wordt uitstekend beschreven door de theorie van hoofdstuk 3.

Het tweede deel van het proefschrift gaat over de voorplanting van licht in zeer sterk verstrooiende materialen. De verstrooiingssterkte wordt gekarakteriseerd door de *verstrooiings vrije weglengte*. Deze geeft de gemiddelde afstand aan die het licht aflegt tussen twee verstrooiingen in. In een mistbank zoals te zien op de omslag is

die afstand zo'n tiental meters. Maar wat gebeurt er als het complexe diëlectricum zo sterk strooit dat de verstrooiings vrije weglengte ongeveer één-miljoenste meter (1 micrometer) is, vergelijkbaar met de golflengte van zichtbaar licht? Aan het eind van de vijftiger jaren heeft P.W. Anderson al voorspeld dat golven, en dus ook licht, in een zo'n sterk verstrooiend medium opgesloten worden. Dit verschijnsel noemt men dan ook Anderson localisatie. In deze nieuwe toestand kan licht niet meer voortplanten, hetgeen uit fundamenteel oogpunt zeer interessant is voor natuurkundigen. Maar het bereiken van deze toestand is niet eenvoudig, want het sterk verstrooiende materiaal mag het licht niet absorberen. Wanneer een mengsel van twee transparante diëlectrica zodanig gestructureerd is dat de brekingsindex willekeurig varieert op lengteschalen die vergelijkbaar zijn met de golflengte van het licht, dan strooit dit mengsel het sterkst. Maar om zéér sterke verstrooiing te verkrijgen moet de variatie in de brekingsindex ook nog groot zijn.

In hoofdstuk 6 worden de optische eigenschappen beschreven van een nieuw soort zeer sterk licht verstrooiend materiaal: poreus galliumfosfide (GaP). Dit materiaal is een wanordelijke spons van luchtporiën in GaP; de poriën hebben een afmeting van zo'n 0,15 micrometer, vergelijkbaar met de golflengte van zichtbaar licht. Het is gemaakt via een nieuwe electrochemische etsmethode. GaP heeft een hoge brekingsindex (3,3) en is transparant voor rood licht. Poreus GaP is dan ook het sterkst verstrooiende materiaal voor zichtbaar licht tot nu toe. Het voordeel van een poreus materiaal is dat dit zich, zoals een spons, laat volzuigen met een vloeistof. Deze eigenschap wordt gebruikt om het belang van de grootte van de variatie van de brekingsindex voor de sterkte van verstrooiing aan te tonen. De optische eigenschappen van met vloeistof gevuld poreus GaP zijn anders dan wanneer het materiaal met lucht is gevuld, omdat de variatie in de brekingsindex door de vloeistof wordt verlaagd. Het gevolg is dat het materiaal minder efficiënt licht verstrooit. De invloed van de variatie in de brekingsindex op de sterkte van verstrooiing blijkt veel groter te zijn dan tot nu toe aan de hand van theorieën werd aangenomen. De metingen aan licht dat door het poreuze materiaal is heen gekomen, vertonen geen kenmerken van Anderson localisatie, maar laten wel zien dat deze materialen zeer sterk verstrooien. De verstrooiings vrije weglengte is in poreus GaP minder dan 0,2 micrometer.

In plaats van naar het licht te kijken dat zich een weg door het verstrooiende materiaal heeft heen gebaand (transmissie), is het ook mogelijk metingen te doen aan het licht dat juist terug verstrooid wordt (reflectie). Zeer preciese metingen, zoals die beschreven staan in hoofdstuk 7, van de gereflecteerde licht intensiteit voor verschillende richtingen ten op zichte van het inkomende licht bundel geven aanvullende informatie over de verstrooiings eigenschappen. Deze metingen bevestigen dat poreus GaP zeer sterk licht verstrooit, en wijzen bovendien in de richting van Anderson localisatie van zichtbaar licht.

