Waarom is water doorzichtig en appelstroop niet?

Sommige materialen zoals water laten licht heel gemakkelijk door, terwijl voor andere materialen zoals witte verf dat niet zo eenvoudig gaat. In dit artikel zien we waarom dit het geval is en wat dit te maken heeft met de Nobelprijzen van 1977 en 2014.



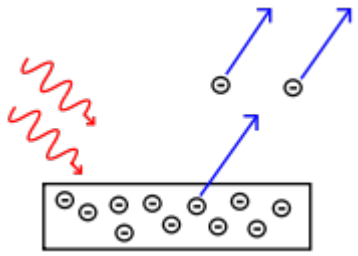
Afbeelding 1. Een glas water.Water is doorzichtig – maar waarom eigenlijk? Foto: Peter Griffin.

Licht is niets anders dan een golf die zich voortbeweegt in het vacuüm. Afgezien van het feit dat lichtgolven zich hierin met een speciale snelheid, de lichtsnelheid, voortbewegen, gebeurt en niets met deze golven. Licht in het vacuum is dus eigenlijk heel erg saai. Laten we licht in aanraking komen met met een materiaal, bijvoorbeeld witte verf op de muur of een stuk papier, dan gebeuren er echter allerlei interessante dingen en is licht zeer zeker niet

meer zo saai.

We kunnen deze interactie in drie typen onderscheiden. Ten eerste wordt een deel van het licht gereflecteerd. Dit licht geeft de kleur van een object. Ten tweede wordt een deel van het licht geabsorbeerd. Dit gedeelte gaat niet door het materiaal, maar wordt door de atomen opgenomen. Atomen gebruiken dit licht om hun elektronen in een hoger energieniveau te brengen of ze zelfs uit het materiaal te schoppen. Dit laatste effect noemen we het foto-elektrisch effect, zie afbeelding 1. Voor de theoretische studie naar dit effect ontving Albert Einstein zijn Nobelprijs in 1921.

Ten slotte kan het licht door het materiaal gaan en zich verder door het vacuum verplaatsen. Deze zogeheten transmissie is erg hoog voor water bij golflengtes die wij kunnen waarnemen, maar klein bij grotere golflengtes.



Afbeelding 1. Foto-elektrisch effectInkomend licht (rood) heeft een dusdanige golflengte dat het de elctronen uit het materiaal kan schoppen (blauw). Afbeelding: Wikipedia-gebruiker Wolfmankurd

In ons dagelijks leven komen we maar al te vaak in aanraking met licht dat dan wel door een materiaal geweest is, dan wel gereflecteerd is. Mede hierdoor is deze onderzoeksrichting erg oud, maar ook heden ten dage wordt er nog steeds veel onderzoek gedaan naar de interactie tussen licht en materie. Een interessant fenomeen dat hierbij centraal staat is verstrooiing van licht.

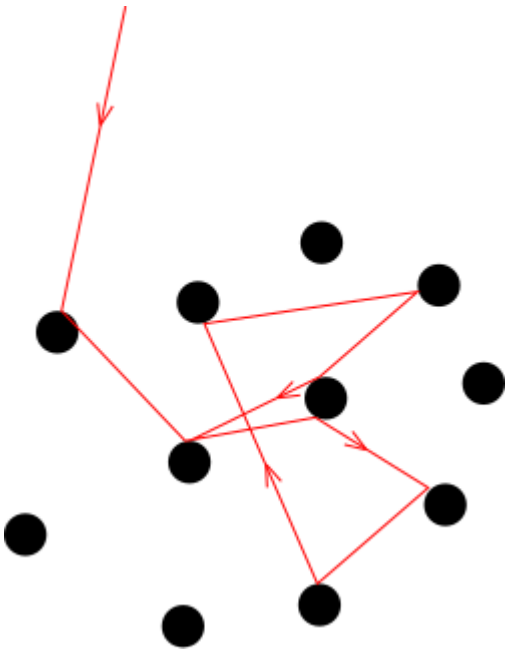
Licht dat een materiaal binnenkomt zal door de aanwezige deeltjes (dit kunnen atomen, maar ook nanodeeltjes zijn) telkens van richting veranderen. Dit kun je goed vergelijken met een bal in een flipperkast die meerdere keren van richting verandert voordat hij weer bij de ‘flippers’ terechtkomt. Dit proces noemen we verstrooiing; het is hier ook al besproken.

Om verstrooiing te karakteriseren hebben natuurkundigen het begrip *vrije weglengte* ingevoerd. Deze grootheid geeft aan over hoeveel afstand het licht ongestoord kan reizen.

Hoe vaker het licht kan botsen, hoe kleiner de vrije weglengte. Voor water is de vrije weglengte erg groot, maar voor appelstroop juist erg klein, met als gevolg dat de transmissie voor appelstroop erg klein is en het er veel minder transparant uitziet.

In een flipperkast kan het soms ook voorkomen dat de bal op een specifieke plek erg vaak botst en daar dan ook een langere tijd dan normaal verblijft. Licht in materie kan dit gedrag ook vertonen; dat wordt Anderson-lokalisatie genoemd. Origineel was dit effect door P.W. Anderson toegewezen aan elektronen in een metaal, maar later werd dit ook door A. Lagendijk waargenomen in de interactie tussen licht en materie. P.W. Anderson kreeg voor onder andere dit werk de Nobelprijs in 1977 en Ad Lagendijk de Spinozaprijs in 2002.

Anderson-lokalisatie zal in georderde materialen nauwelijks optreden, maar in wanordelijke materialen kan dit wel gebeuren. In het ideale geval zal bij zo'n effect het inkomende licht dus nooit het materiaal verlaten, maar gelocaliseerd blijven in het materiaal. Natuurlijk is Anderson-lokalisatie met licht een vrij zeldzaam proces, maar dit proces laat wel duidelijk zien wat licht in een materiaal kan doen. In afbeelding 2 kun je duidelijk zien hoe Anderson-lokalisatie precies in zijn werk gaat.



Afbeelding 2. Anderson-lokalisatieInkomend licht (rood) wordt meerdere keren verstrooid door een wanordelijke medium (zwart) en blijft gelokaliseerd; het licht verlaat het medium niet.

Dit zijn allemaal heel mooie voorbeelden van verstrooiing, maar is het ook bruikbaar?

Jazeker, verstrooiing van licht is erg bruikbaar zelfs! Dit kun je vooral zien bij de witte LED. Wit licht is onmisbaar in ons dagelijks leven, maar wordt nog vooral verkregen uit dure bronnen zoals gloeilampen en TL-buizen. Hoewel een witte LED een goedkoop alternatief is, is de het maken ervan nog niet zo één-twee-drie gedaan. Een LED is namelijk een monochromatische lichtbron (een bron die maar één kleur licht geeft) en kan dus nooit wit licht (een samenstelling van alle kleuren) uitstralen.

Door licht veelvuldig te laten verstrooiien kan dit echter wel gerealiseerd worden. Deze verstrooiing moet dan wel zodanig zijn dat het te verstrooide licht geconverteerd kan worden naar blauw, groen, geel en rood licht. Dit wordt gedaan door verschillende fosfor-coatings in een blauwe LED aan te brengen. Deze coatings nemen het blauwe licht op en converteren het naar licht met grotere golflengtes. Zodoende bevat het licht dat de LED verlaat alle kleuren en wordt het door ons gezien als wit licht.

Een cruciaal gedeelte in de productie van wit licht is de blauwe LED. De fosfor-coatings kunnen namelijk alleen licht uitzenden met een *grotere* golflengte dan het inkomende licht. Blauw licht heeft de kleinste golflengte en kan door de coatings dus omgezet worden in alle andere kleuren. Als gevolg hiervan zorgt de blauwe LED er dus voor dat mensen in arme landen ook goedkoop aan wit licht kunnen komen. Dankzij deze grote maatschappelijke impact heeft het Nobel-comité in 2014 besloten de Nobelprijs uit te reiken aan drie Japanners die een efficiente blauwe LED hebben gemaakt.

De verschillende fenomenen die ik hier geschetst heb zijn nog maar het puntje van de ijsberg. De wisselwerking tussen licht en materialen vormt een erg interessant onderzoeksgebied en is een onderwerp waar we op deze website zeker nog vaker over zullen schrijven.