

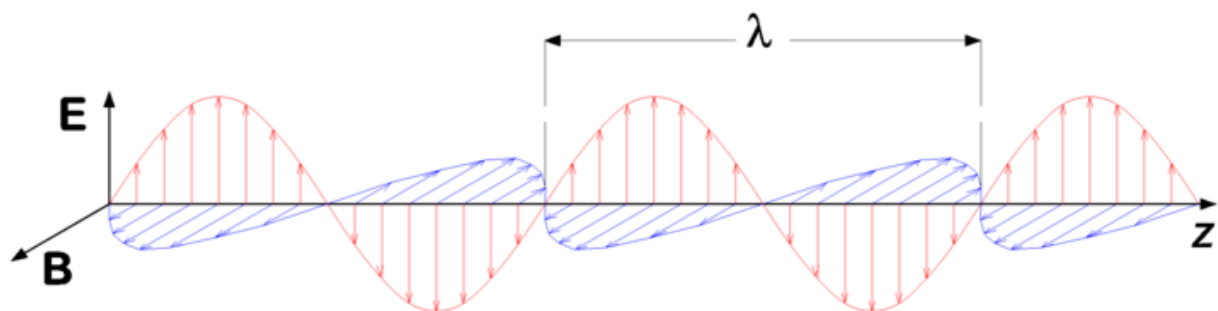
De natuurkunde van regenbogen

Soms komt de inspiratie voor een Quantum Universe-artikel vanuit onverwachte hoek. Onlangs, tijdens een etentje met familie, vertelde een van mijn tafelgenoten mij een interessant verhaal. Terwijl ze laatst in de auto uit het raam zat te turen zag ze plotseling een ontzettend mooie regenboog aan de hemel. Verbazingwekkend genoeg deelde haar reisgenoot haar enthousiasme pas toen hij zijn zonnebril af deed. Wat bleek? Zijn zonnebril blokkeerde nagenoeg al het licht van de regenboog, waardoor deze nauwelijks te zien was. Opmerkelijk! Maar hoe kwam het? Ik besloot eens in de natuurkunde van regenbogen te duiken.



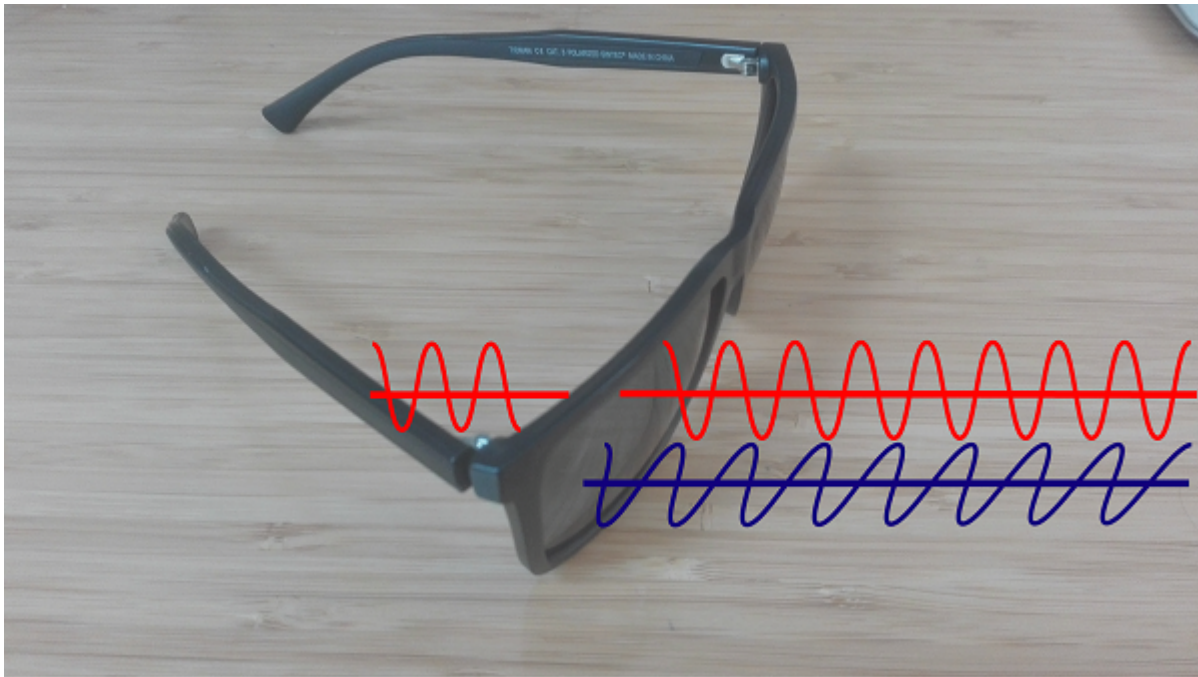
Afbeelding 1. Een regenboog.Een regenboog is een prachtig natuurverschijnsel. Maar waarom zie je de boog nauwelijks als je een polaroid-bril op hebt? Foto: [Sharon Joy](#).

Een lezer die zijn of haar natuurkundekennis van de middelbare school nog goed in het geheugen heeft, zal zich herinneren dat licht een elektromagnetische golf is. Naast een golflengte, die de kleur van het licht bepaalt, heeft licht ook een zogenaamde polarisatierichting - zie afbeelding 2:



Afbeelding 2. Een lichtgolf met golflengte λ .De golf bestaat uit een variërend elektrisch veld (aangegeven met E) en een variërend magnetisch veld (aangegeven met B), loodrecht op elkaar. De polarisatierichting wordt doorgaans aangeduid als de ruimtelijke richting waarin het E -veld golft. Afbeelding: [P. Wormer](#).

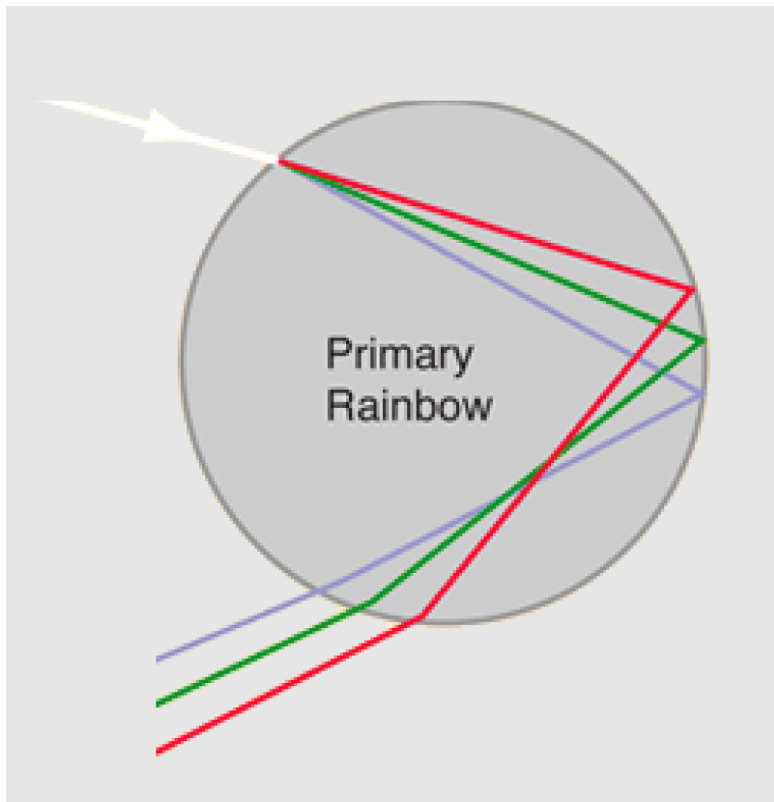
Natuurlijk licht, zoals dat van de zon, bestaat uit veel verschillende golven met elk een andere polarisatierichting. Gemiddeld genomen heeft zonlicht dan ook geen "favoriete" polarisatierichting: we noemen dit licht *ongepolariseerd*. Nu is het zo dat er materialen bestaan die licht met maar één specifieke polarisatierichting doorlaten. Een voorbeeld daarvan is een polaroid-zonnebril. Zo'n zonnebril heeft de eigenschap dat hij alleen licht doorlaat dat bijvoorbeeld verticaal gepolariseerd is ten opzichte van de zonnebril zelf, en alle andere richtingen nagenoeg blokkeert.



Afbeelding 3. Een polaroid-bril. De gepolariseerde zonnebril van de auteur van dit artikel laat alleen licht door dat verticaal gepolariseerd is (aangegeven met rood). Licht dat horizontaal gepolariseerd is (aangegeven met blauw) wordt volledig geblokkeerd.

Interessant, maar wat heeft dit te maken met regenbogen? Het feit dat de regenboog niet te zien was door de zonnebril, betekent dat een regenboog kennelijk horizontaal gepolariseerd licht uitzendt, aangezien dit licht door de bril wordt tegengehouden. Om te begrijpen hoe deze polarisatie tot stand komt, zullen we er eerst achter moeten komen hoe een regenboog ontstaat.

Wanneer er op een zonnige dag plotseling een regenbui ontstaat, zal het licht dat op de regendruppel valt in een waaijer van verschillende kleuren uiteen worden gebroken. Dit fenomeen, *refractie* genoemd, is sterker voor licht met korte golflengtes. In het geval van zonlicht op een regendruppel bijvoorbeeld, breekt paars licht (korte golflengte) onder een hoek van ongeveer 40 graden ten opzichte van de inval-richting, en rood licht (langere golflengte) onder een hoek van ongeveer 42 graden. Zie de afbeelding hieronder:



Afbeelding 4. Breking van licht.Zonlicht dat op een regendruppel valt wordt gebroken in verschillende kleuren en gereflecteerd op de druppelwand. De refractiehoek hangt samen met de golflengte van het licht. Kortere golflengtes worden sterker gebroken. Afbeelding: [R. Nave, Hyperphysics](#).

Dit alles leidt ertoe dat de paarse en blauwe kleuren die we bij een regenboog zien, afkomstig zijn van druppels die zich *lager* in de lucht bevinden, en de oranje en rode kleuren van druppels *hoger* in de lucht. Een paarse lichtstraal die op een “hoge” druppel reflecteert zal immers te sterk worden gebroken zodat deze boven je hoofd terecht komt en niet zichtbaar is. Op soortgelijke wijze zal een rode lichtstraal op een “lage” lichtdruppel te weinig breken en beneden je blikveld vallen.

Er gebeurt nog iets interessants wanneer het licht reflecteert op de druppelwand. Het is namelijk zo dat slechts een deel van het licht wordt gereflecteerd; de rest kan door de druppel heen reizen. De zogeheten [Fresnelvergelijkingen](#) (die weer zijn af te leiden uit de [Maxwellvergelijkingen](#) voor het elektromagnetisme) vertellen ons dat de hoeveelheid licht die gereflecteerd wordt sterk samenhangt met de polarisatierichting. Sterker nog, als licht precies onder de zogeheten [Brewsterhoek](#) op de druppel valt, is al het gereflecteerde licht horizontaal gepolariseerd en wordt het gedeelte van het zonlicht dat verticaal gepolariseerd is juist doorgelaten.

De Brewsterhoek θ_B in dit proces kun je uitrekenen; de formule daarvoor is

$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\frac{n_{lucht}}{n_{water}} \right)$$

waarbij $n_{water} = 1,0$ en $n_{lucht} = 1,3$ de [brekingsindices](#) van water en lucht zijn. De Brewsterhoek voor een regendruppel is dus $\theta_B = \tan^{-1}(1/1,3) = 38$ graden, wat zoals we gezien hebben erg dicht in de buurt ligt van de hoek van grofweg 40 graden waaronder zonlicht in een druppel gebroken wordt. We komen dus tot de conclusie dat een regenboog inderdaad vrijwel uitsluitend horizontaal gepolariseerd is!

Vandaar dus dat een polaroid-zonnebril het licht van de regenboog tegenhoudt. Zo zie je maar weer dat een eenvoudige waarneming tot zeer mooie natuurkunde kan leiden. Misschien moet ik vaker met vrienden uit eten gaan...