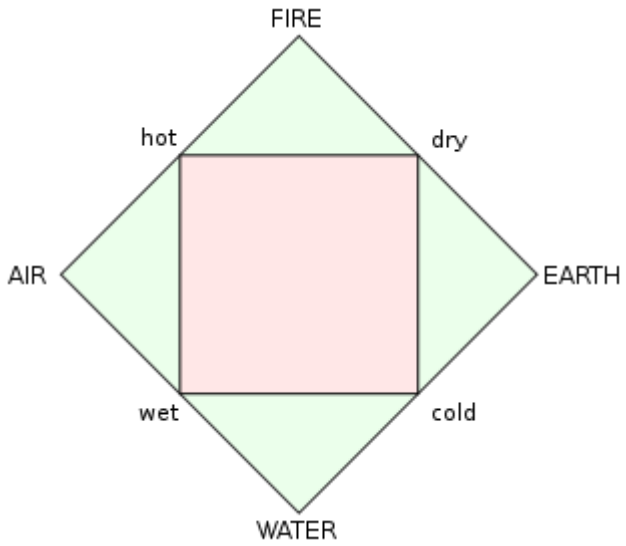
Natuurkundig gekibbel: materieël gekibbel door de eeuwen heen

Wat is de fundamentele aard van materie? Kan je eeuwig doorgaan met materie splitsen, of kom je ooit op een kleinste bouwsteen uit? En zo ja, is die bouwsteen dan een deeltje of iets anders?

Filosofen in het oude India en het oude Griekenland waren enkele eeuwen voor de gewone jaartelling al bezig met deze vragen. Aristoteles, misschien wel de beroemdste filosoof uit die tijd, pleitte er voor dat materie een eeuwig deelbare substantie is die bestaat uit de vier elementen: water, vuur, lucht en aarde. Verschillende soorten materie bestaan uit verschillende combinaties van deze vier elementen. Hij gaf de vier elementen een rangorde. Aarde is het zwaarst en zal altijd dalen naar het centrum van het universum (centrum van de Aarde), Water is lichter dan aarde en zal zich erboven bevinden. Daarboven vind je lucht, en het lichtst is vuur. Aristoteles dacht dat alle materie uiteindelijk in verval raakt en afbreekt. Volgens hem bestaan alleen de sterren aan de hemel uit een eeuwig bestaand element, dit vijfde element noemde hij kwintessens. De vier elementen verbond hij volgens onderstaand schema aan twee paren van tegenovergestelde waarneembare eigenschappen: nat en droog, en warm en koud.



Figuur 1: De elementen (bron: Wikimedia)

Met dit model in handen kon Aristoteles voor die tijd al veel verklaren van wat hij zag in de wereld (bijvoorbeeld een blok hout blijft drijven op water omdat het hout naast aarde ook uit vuur bestaat) en zijn model voor de aard van materie is lang erg populair geweest. Aristoteles zijn model was echter niet het enige interessante model uit die tijd.

Wat ons allen wat moderner in de oren zal aanklinken is het atomisme, waarin er wel een kleinste bouwsteen is. De beroemdste voorvechter voor dit idee was Democritus, die het atomisme voorstelde om een oplossing te vinden voor het gekibbel tussen Heraclitus en Parmenides over de natuur van verandering. Hij was het die deze bouwstenen de naam atomen (Grieks voor ondeelbaar) gaf.

In het atomisme worden de eigenschappen van materie verklaard door de onderliggende bouwstenen. Zo wordt de stevigheid van een materiaal bepaald door de stabiliteit en cohesie van de atomen waar de materie uit bestaat. In tegestelling tot het model van Aristoteles kunnen er volgens de atomisten leegtes bestaan tussen atomen. Ook de atomisten gebruikte hun model om de wereld om hen heen te verklaren, hoewel ze vaak juist andere fenomenen konden verklaren dan Aristoteles. Zo verklaart het atomisme waarom water met aarde mengen tot modder makkelijk is maar dit proces weer ongedaan maken lastig is.

Deze ideeën over de natuur van materie waren allemaal gebaseerd op filosofische overwegingen. Enig bewijs op basis van waarnemingen hadden ze natuurlijk niet en wetenschap zoals wij dat kennen bestond in z’n geheel niet. Het atomisme van de oude Grieken toont zeker overeenkomsten met ons huidige beeld van (macroscopische) materie, zoals elementaire bouwstenen en het bestaan van leegtes, maar een echte voorloper van onze huidige modelen was het niet. Zo dacht Democritus bijvoorbeeld dat er oneindig veel verschillende atomen waren.

Newton vs. Huygens: is licht een deeltje of een golf?

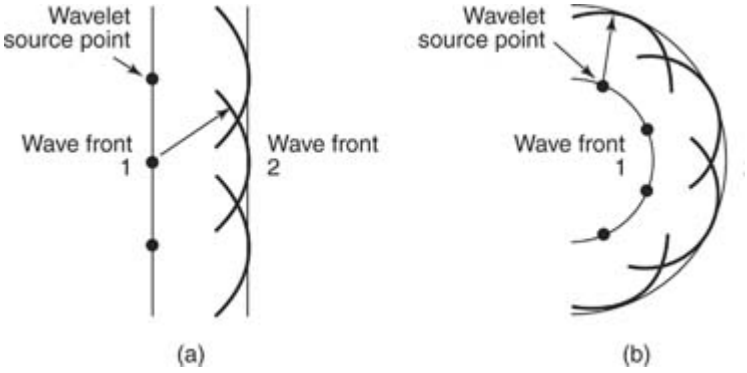
De eerste echt wetenschappelijke, op waarnemingen gebaseerde, discussie over de aard van materie begon in de 17de eeuw met in de hoofdrol natuurlijk Isaac Newton. In het eerste artikel van deze serie vertelde ik al over het gekibbel tussen Newton en Leibniz, maar ook met de Nederlandse natuurkundige Christiaan Huygens (1629 – 1695) had Newton het aan

de stok. Hun discussie ging over de natuur van licht. Bestaat licht uit deeltjes of uit golven?

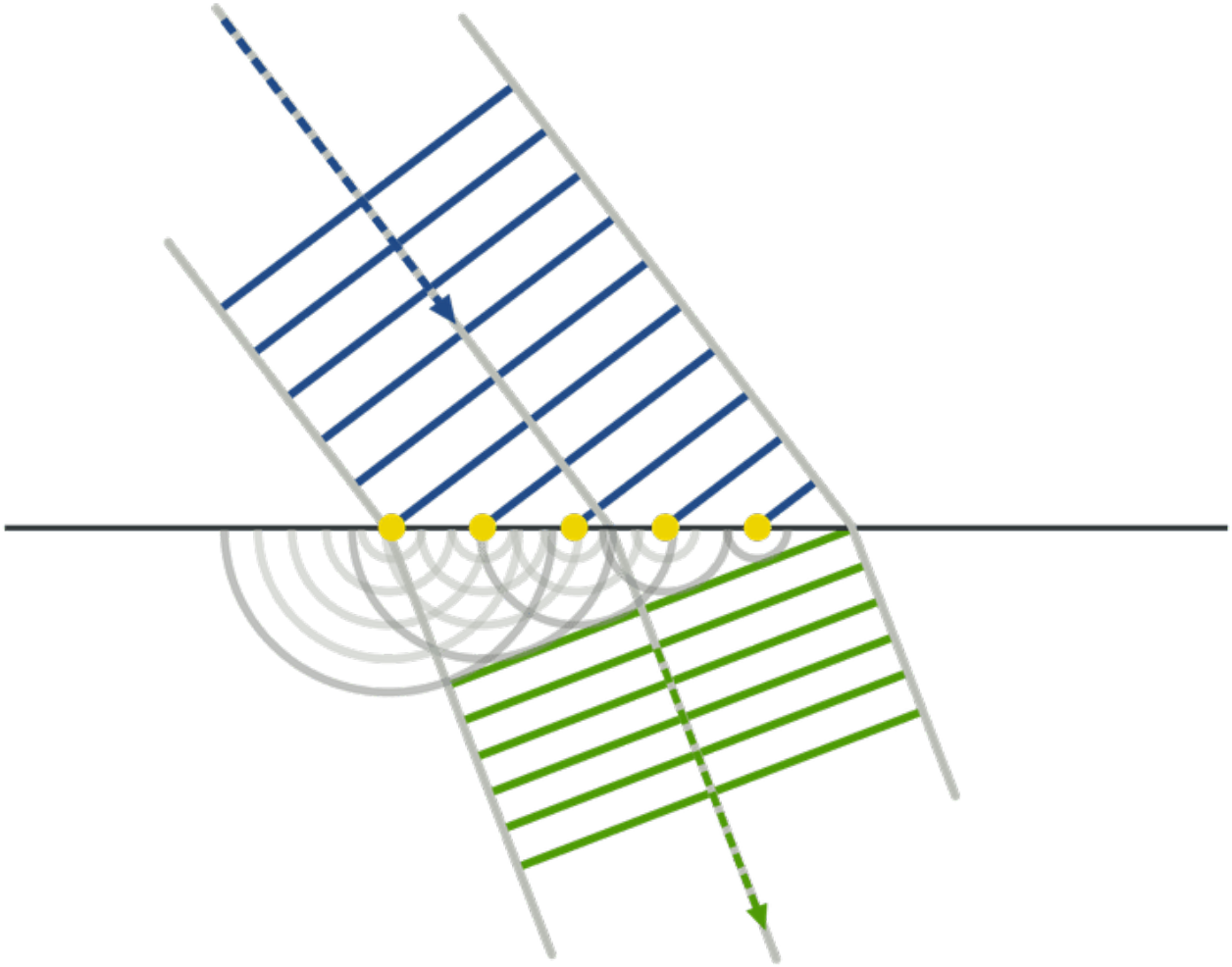
De eerste uitgebreide theorie over de aard van licht kwam van de hand van Christiaan Huygens. In zijn theorie wordt licht beschreven als golven. Het principe waar zijn theorie op is gebaseerd formuleerde hij als volgt:

“Elk punt van een golffront is op te vatten als een nieuw storingscentrum, dat op zijn beurt lichtpulsen uitzendt. Een nieuw golffront vindt men door de omhullende van deze elementaire golffronten te nemen”.

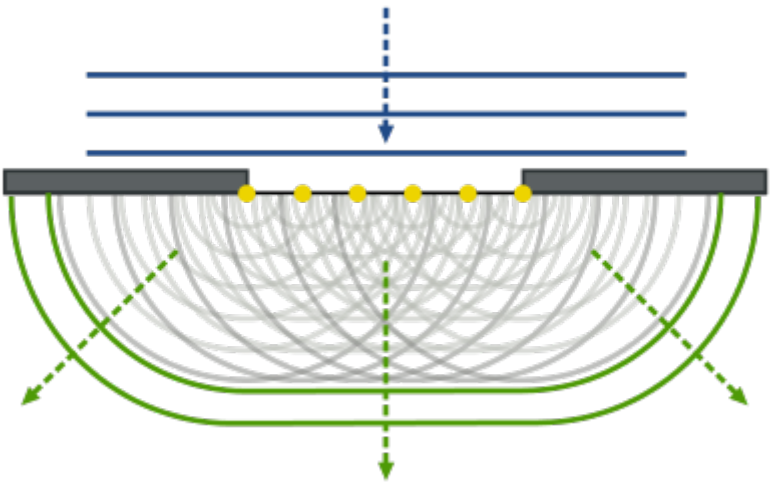
Wat hij hiermee bedoelde is vrij simpel. Wil je weten hoe een golf zich voortbeweegt? Teken op het golffront op elk punt een cirkel van een bepaalde radius. (de radius hangt af van de golfsnelheid en hoe ver in de tijd je vooruit wilt rekenen.) Teken de raaklijn op deze cirkels en je hebt je nieuwe golffront.



Dit model had aanvankelijk succes. Huygens kon met zijn model refractie verklaren en de brekingswet van Snellius afleiden. Refractie is het fenomeen dat licht ‘breekt’, oftewel afbuigt, wanneer het van het ene medium naar het andere gaat. In de afbeelding hieronder kan je zien hoe Huygens dit kon verklaren door het tekenen van cirkels daar waar de golf de grens tussen de media bereikt.



Naast refractie kon Huygens met zijn model ook diffractie verklaren. Diffractie is het afbuigen van een golf langs een ondoordringbaar obstakel. Denk aan de verbreding van een golf die door een spleet in een barrière is gegaan, zoals aangegeven in de afbeelding hieronder.



Experimenteel bewijs voor diffractie was er al wel in de tijd van Huygens. Hij baseerde zich bij het maken van zijn theorie op het werk van Francesco Grimaldi (1618 – 1663), die had gekeken naar de randen van schaduwen. Als licht bestaat uit deeltjes dan moet de rand van een schaduw lijnscherp zijn, maar als licht uit golven bestaat dan zal er diffractie plaats vinden en zal de rand van de schaduw vaag zijn. Grimaldi was tot de conclusie gekomen dat de randen van schaduwen vaag zijn en dat er dus diffractie optreedt.

Tot zo ver lijkt het dat de theorie van Huygens succes had, maar het probleem voor Huygens was dat er in de 17de eeuw te weinig goede experimenten gedaan waren om zijn theorie te ondersteunen. Dit gaf de ruimte voor een alternatief model dat licht juist als deeltjes beschouwt. Toch zou de theorie van Huygens een lastig obstakel zijn geweest, ware het niet dat de bedenker van de alternatieve theorie een absolute rockstar-status had in de natuurkunde wereld. Ik heb het natuurlijk over Sir Isaac Newton.

Tegen de tijd dat Newton zich begon te interesseren voor de aard van licht had hij al grote faam vergaard. Toen hij zijn boek over optica publiceerde in 1704 had hij niet alleen al zijn beroemde meesterwerk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* uitgebracht maar was hij ook al president van de *Royal Society*, de befaamde Britse academie voor de natuurwetenschappen.

Newton had meerdere argumenten voor zijn stelling dat licht uit deeltjes bestaat. Zo zei hij dat licht helemaal geen diffractie ondervind maar juist altijd in rechte lijnen beweegt. De redenatie hierachter is vrij simpel. Geluidsgolven gaan makkelijk een hoek om. Als er iemand om een hoek staan kun je die gene wel horen, maar niet zien. Je kan alleen dingen zien die via een rechte lijn te verbinden zijn met je ogen.

Een ander belangrijk argument is dat licht door vacuüm kan reizen. Elke toen bekende vorm van golven heeft een medium nodig, zoals golven in het water of geluidsgolven in de lucht. Stop een bel in een vacuüm gezogen glazen stolp. Als je de bel luidt zul je het niet meer kunnen horen, maar je kan het nog steeds wel zien. Dit kon alleen verklaard worden als licht bestaat uit deeltjes.

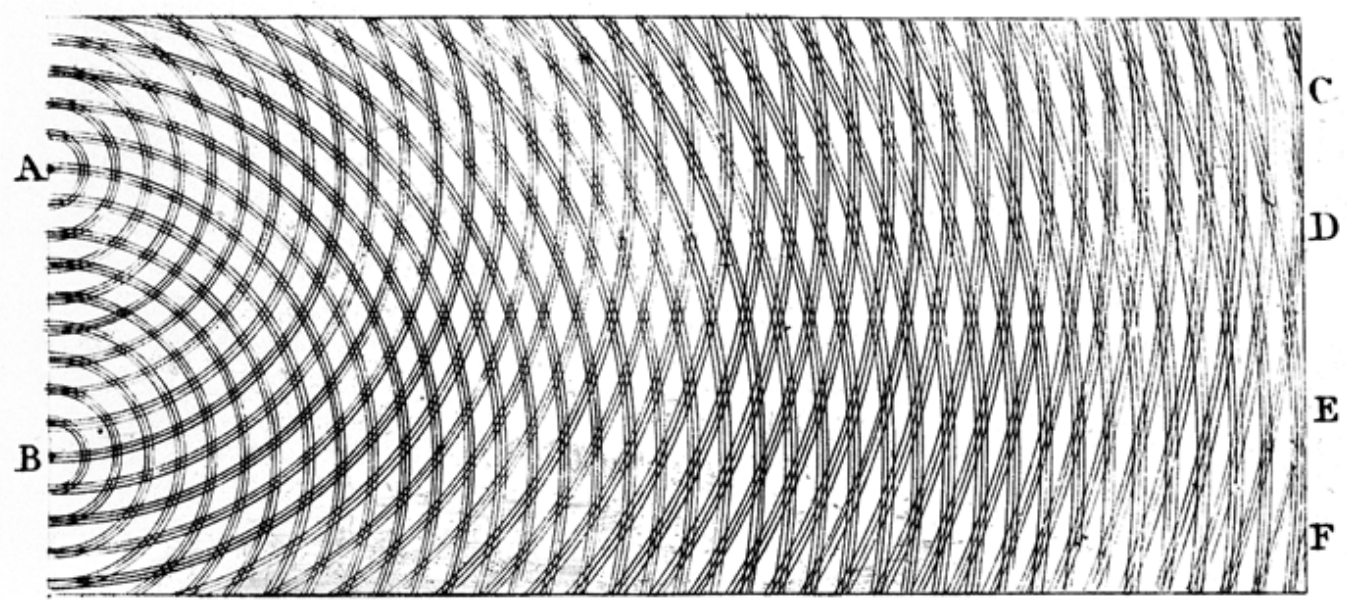
Newton probeerde met zijn theorie ook een ander fenomeen te verklaren, namelijk het opsplitsen van wit licht in meerdere kleuren wanneer je het licht door een prisma laat gaan.

Hij stelde dat een prisma licht opdeelt omdat verschillende kleuren licht bestaan uit deeltjes van verschillende groottes die verschillend worden beïnvloed door de prisma.

Natuurlijk had de theorie van Newton ook tekortkomingen. Huygens en Newton konden met hun theorieën verschillende fenomenen verklaren. Toch won vooral Newton snel in aanhang, maar dit kwam toch ook voor een groot deel voort uit zijn grote status als natuurkundige. Het was ook Newton die uiteindelijk aan de *Royal Society*, waarvan hij zelf president was, vroeg om zich uit te spreken over wie er nou gelijk had. Het zal je dan ook niet verbazen dat de *Royal Society* zich in het voordeel van Newton uitsprak.

Newtons gelijk zou een eeuw lang niet in twijfel worden getrokken

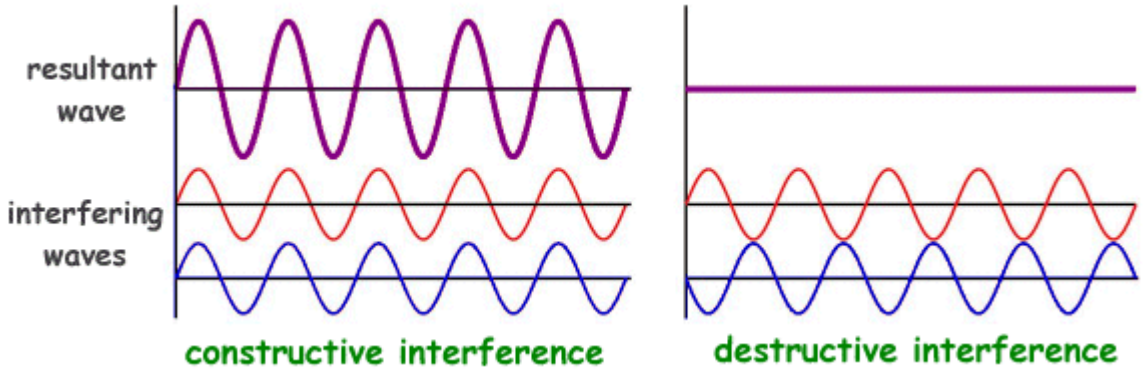
Zoals ik al eerder zei was het grote probleem voor de natuurkundige van de 17de eeuw dat er nog te weinig goede experimenten waren gedaan om goed uitsluitsel te kunnen geven over de aard van licht. Het zou tot 1803 duren voordat de Engelse Thomas Young (1773 – 1829) eindelijk een experiment deed dat uitsluitsel gaf.



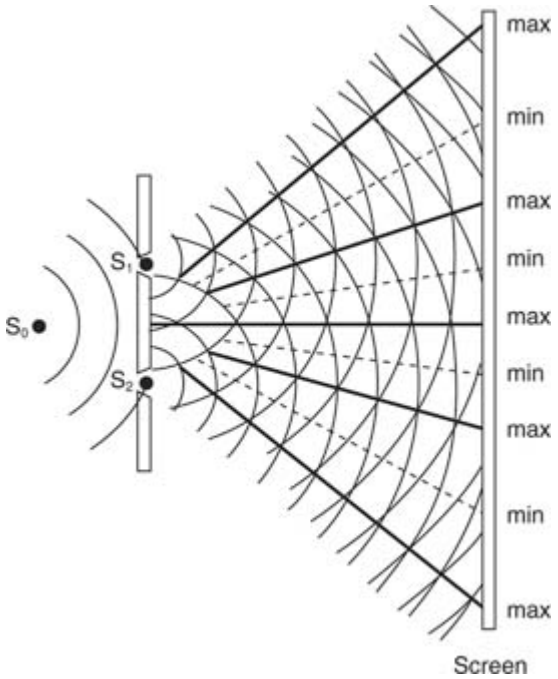
Figuur 2:Thomas Youngs schets van het tweespletenexperiment

Zijn experiment is zo simpel als dat het briljant is. Wanneer twee golven overlappen krijg je een effect genaamd interferentie. Interferentie is er in twee smaken, constructieve

interferentie en destructieve interferentie. Constructieve interferentie krijg je wanneer de golven in fase lopen, dat wil zeggen dat de toppen (en dalen) van de twee golven gelijk lopen. Wanneer dit gebeurt versterken de twee golven elkaar. Wanneer de golven juist uit fase zijn, en de ene een top heeft waar de ander een dal heeft, krijg je destructieve interferentie; de golven heffen elkaar op.



Young zijn idee was om, net zoals Huygens, te kijken naar diffractie van licht wanneer het door een spleet gaat. Maar in tegenstelling tot Huygens maakte Young twee spleten naast elkaar in de barrière. De twee resulteren golven zullen met elkaar gaan interfereren waardoor een zogenaamd interferentiepatroon ontstaat, met lichte punten waar de golven constructief interfereren en juist geen licht daar waar de golven destructief interfereren.



Young zijn experiment wordt vaak gezien als een van de meest succesvolle natuurkunde

experimenten ooit. Het betekende het einde voor Newton's theorie van licht en maakte het werk van Christiaan Huygens en de latere uitbreiding door Fresnel tot de standaard theorie voor de beschrijving van licht.

Eind goed al goed?

Een eeuw na het experiment van Young was het een jonge onbekende patentenbureaumedewerker die de hele theorie over de aard van licht weer onderuit zou schoppen. Ene Albert Einstein.

Weer lag de vraag open, is licht nou een golf of een deeltje? De hernieuwde zoektocht naar het antwoord op deze vraag leidde tot het spannendste en meest revolutionaire tijdperk in de natuurkunde ooit, dat uiteindelijk niet alleen antwoord zou geven op de vraag wat de aard van licht is, maar ook op de vraag wat de aard van materie is.

Maar daarover meer in deel twee, waarin ik zal vertellen over het gedachte experiment van Einstein, over wat er gebeurt wanneer je het tweespletenexperiment doet niet met licht maar met een elektron en over al het gekibbel dat volgde op de ontdekking van de quantummechanica.