

4. Fijne stof via interferentie van licht.

Inhoud

4.1. Een spel van vele kleuren.....	1
4.2. Diffractiekleuren zijn geen interferentiekleuren	3
4.3. Een eerste experiment	3
4.4. Een tweede experiment	4
4.5. Een derde experiment.....	5
4.6. Het ‘twee-spletenexperiment’ van Thomas Young.	6
4.7. De ringen van I. Newton	8

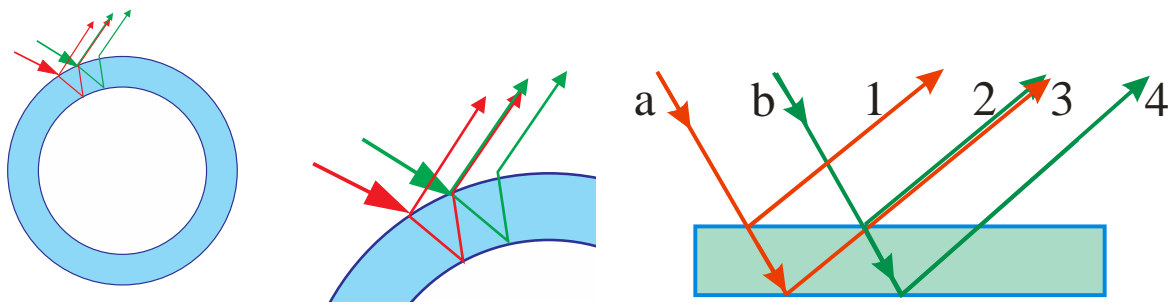
4.1. Een spel van vele kleuren

Bij het uitvoeren van het M&M-experiment werd voor het eerst in de geschiedenis gebruik gemaakt van interferentie van licht, zo zegden we. De term ‘interferentie’ kan ons misschien wat afschrikken, maar met de zaak zelf worden we haast dagelijks geconfronteerd. Meestal echter zonder er stil bij te staan. Trachten we vooreerst het verschijnsel toe te lichten.

Het kleurenspeel in een zeepbel of in een olielaagje op een plas water zijn b.v. het resultaat van optische interferentie, van het samenspel van vele lichtstralen.

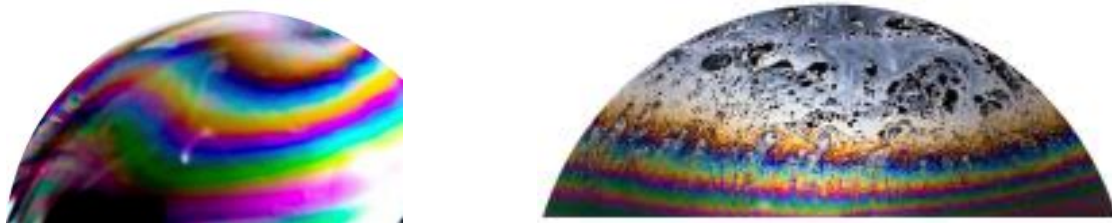


We trachten te verduidelijken. De tekening hieronder links stelt een zeepbel voor. De tweede tekening geeft ons een detail ervan. Het blauwe rechthoekje in de tekening rechts stelt eveneens een stukje van de zeepbel voor, of een stukje van een laagje olie op water of van een doorzichtige uiterst dunne stof op onze GSM. Laten we hierop het licht schuin invallen, en wel met de lichtstralen a en b.



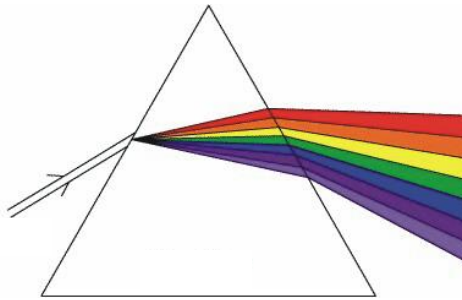
Kijken we naar de tekening hierboven rechts. De lichtstralen vanuit a (in rode kleur) en vanuit b (in groene kleur) die hierop invallen, kunnen gedeeltelijk op de bovenzijde van het laagje weerkaatsen, maar ook op de onderzijde. Kijken we naar de weg die de invallende stralen a en b kunnen volgen. De stralen (a)1 en (b)3 weerkaatsen aan de bovenzijde, de stralen (a)2 en (b)4 aan de onderzijde van het laagje. Men ziet dat de weerkaatste stralen 2 (groen) en 3 (rood) met elkaar samenvallen. Straal a2 heeft echter een langere weg afgelegd dan straal b3. Dit minimale verschil in weglengte leidt echter tot een merkbaar verschil in kleur. En dit proces herhaalt zich voor de vele lichtstralen die op het laagje invallen, vandaar de mooie kleureffecten.

Kijken we nog aandachtiger naar onze zeepbel. We stellen in zijn zo korte en kleurrijke leven vast dat de tinten zich voortdurend wijzigen. Die veranderingen worden veroorzaakt door de zwaartekracht.



Het water in de bel wordt geleidelijk naar het laagste punt getrokken, waardoor soms enkele bijna horizontale banden zich tonen in wisselende kleuren. Tenslotte heeft er zich teveel water onderaan in de bel verzameld en is hij elders zo dun geworden dat hij uiteenspat. Weg zijn onze mooie kleuren. Onze zeepbel zou zijn bestaan eventueel wel kunnen verlengd zien en we zouden zijn kleurenwijzigingen wat langer kunnen bestuderen als men hem zou blazen in een zwaartekracht vrij veld. Een experiment om uit te voeren in een ruimtecapsule? De extra prijs van een pijpje en wat zeepsop zal het ruimtetebudget vermoedelijk niet al te zwaar belasten.

4.2. Diffractiekleuren zijn geen interferentiekleuren



Letten we op het verschil tussen diffractie en interferentie. Een regenboog is een diffractieverschijnsel, het licht ontbindt er zich in zijn samenstellende kleuren. De vele regendruppeltjes zijn als zovele prisma's die het licht 'ontleden' tot zuivere kleuren.

Interferentie is zo een beetje het omgekeerde : coherente lichtstralen afkomstig van éénzelfde lichtbron zoals b.v. de zon, verenigen zich, waardoor een samenspel, een mengeling van vele kleuren kan ontstaan.

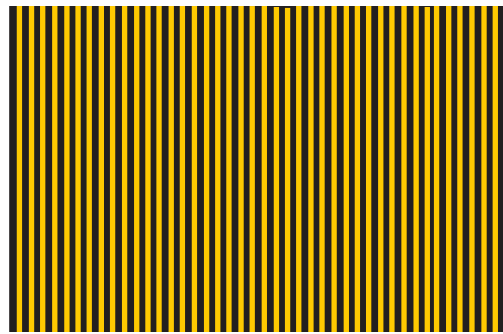


Een regenboog toont ons zuivere kleuren, interferentie geeft ons een mengeling van kleuren.

4.3. Een eerste experiment

Jaren geleden deden we ons allereerste interferentie-experiment. We wilden het tweespleten-experiment van Young overdoen (zie verder) en gebruikten hiervoor een oude

natriumlamp, een monochromatische lichtbron dus, met licht van één kleur. Het was het type dat toen algemeen gebruikt werd op onze snelwegen. De lamp zelf is wel een meter hoog en gebruikt nauwelijks 90 watt. We omwikkelden ze helemaal met zilverpapier. Vervolgens prikten we er aan de lichtzijde en op nauwelijks één mm van elkaar, met een fijne speld twee gaatjes in. We verduisterden vervolgens de kamer. En zie, op de muur, ongeveer 5 meter verder, tekenden zich haarscherp wel duizenden gele lijnen af, allen nestjes evenwijdig naast elkaar. We realiseerden ons dat lichtgolven nu eenmaal bijzonder klein zijn ; er gaan er tweeduizend in één enkele millimeter.



4.4. Een tweede experiment

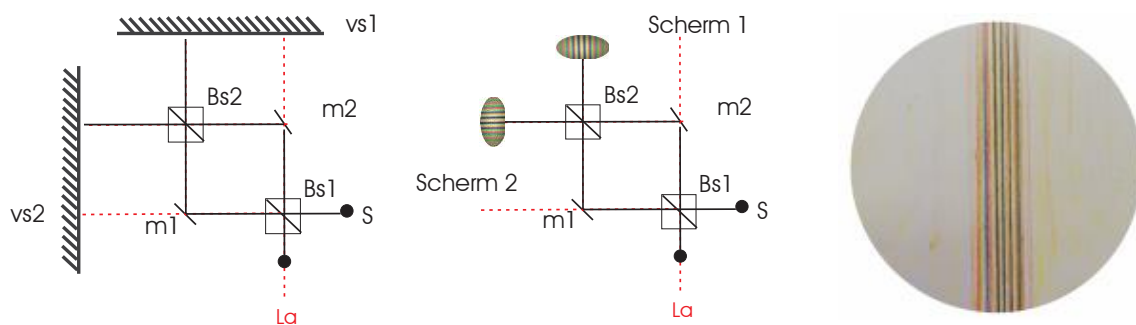
Vervolgens experimenteerden we met wit licht, licht dat nog alle kleuren van de regenboog bevat. Een glasvezel leidde het licht van onze lichtbron, een eenvoudige lamp, naar onze ‘puntlichtbron’, een metalen plaatje met hierin een gaatje geprikt, dat zich net voor een beamsplitter Bs1 bevond. Daar werd het licht in twee deelbundels gesplitst. Eén deelbundel ging via het vlakke spiegeltje m1 naar een tweede splitter, Bs2. De tweede deelbundel ging via m2 naar Bs2.

Op de vlakke schermen vs1 en vs2 hadden we verwacht ook interferentielijnen te zien, lijnen in kleuren. We werkten toch met wit licht. Maar niets ervan. Onze opstelling was helemaal niet uitgelijnd. Herbeginnen dus, met een laser, en de vlakke schermen vervangen door vlakke spiegels. De spiegeltjes m1 en m2 vervolgens verwijderen en de vlakke spiegels vs1 en vs2 zo plaatsen dat de weerkaatste laserstraal terug nauwgezet naar Bs1 ging. Vervolgens m1 zo plaatsen dat de weerkaatsing van het laserlicht op vs1 eveneens terug naar de laser ging. Nadien hetzelfde voor spiegeltje m2 op vs2.

Dan een stukje papier plaatsen voor de spiegels vs1 en vs2, zodat ze het laserlicht niet weerkaatsen. Slechts daarna kan splitter Bs2 geplaatst worden. Elke belichte zijde van Bs2 weerkaatst ongeveer 4% van het licht. Ook die weerkaatsingen moeten weer heel juist op de laser gericht worden. Is dat allemaal uiterst nauwgezet gebeurd, dan zie je op de beide schermen een aantal interferentie-lijnen in laserlicht. Doof je de laser en gebruik je wit licht, dan merk je inderdaad enkele gekleurde lijnen netjes naast elkaar, zoals op de tekening rechts is weergegeven.

Alle onderdelen juist plaatsen met de losse hand lukt gewoon niet. Je moet elk optisch onderdeel voorzien van hefboomen met stelschroeven, zodat je de bewegingen ervan nauwgezet en volgens de drie assen kunt vertragen en controleren. De opstelling zoals ze hieronder schematisch is weergegeven, nabouwen is dus echt geen eenvoudige opdracht. Het geeft te denken met welke graad van nauwkeurigheid we onze verdere opstellingen zullen moeten bouwen.

Noemen we zulk een type van interferometer een ‘open’ type. De beide deelbundels leggen elk een onderscheiden weg af. Je bent eigenlijk nooit zeker of de weg Bs1, m1, Bs2 inderdaad even lang is als de weg Bs1, m2, Bs2, en dit tot op een onderdeel van een mm. Vragen we ons af of er een soort van interferometer bestaat of kan bedacht worden, waarbij de beide deelbundels op een manier gescheiden blijven en toch dezelfde weg afleggen. Het lijkt wel een tegenspraak, maar misschien is er wel iets op te vinden? Zoeken we dus naar een ‘gesloten’ type van interferometer.



4.5. Een derde experiment

Kijken we naar de tekening hieronder links. De puntlichtbron S belicht de spiegel M. De weerkaatste bundel bereikt de splitter BS waar het licht zich in twee deelbundels splitst.

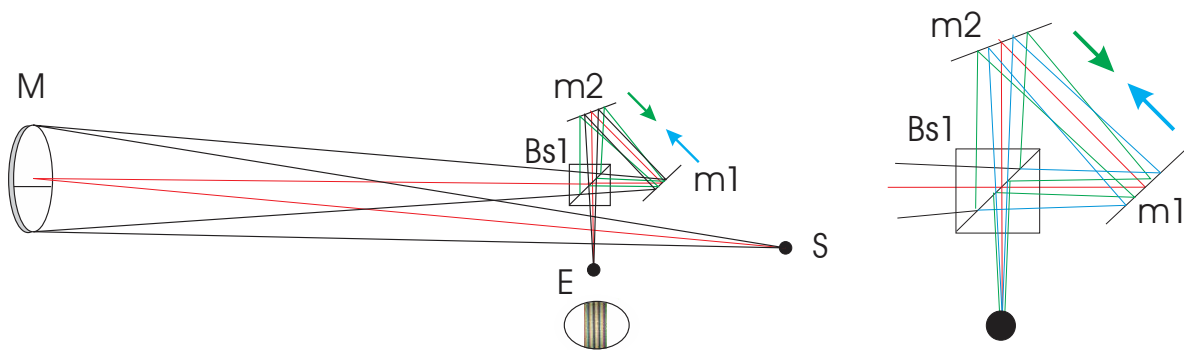
Kijken we naar de detailtekening rechts. Eén deelbundel gaat in wijzerzin via de vlakke spiegel m2 en m1 opnieuw naar Bs, en tenslotte naar de waarnemer in E.

De andere deelbundel gaat in tegenwijzerzin via de vlakke spiegel m1 en m2 opnieuw naar Bs, en tenslotte naar de waarnemer in E.

In feite leggen de beide deelbundels identiek dezelfde weg af, maar in tegengestelde zin. Dat betekent dat ze per definitie net even lang zijn. Maar daarmee hebben we geen ‘open’ opstelling meer waar de deelbundels in lengte een onderdeel van een mm kunnen verschillen, doch een ‘gesloten’ opstelling. Dit maakt dat het bereiken van een interferentiebeeld wellicht niet meer zo moeilijk zal zijn.

We bouwen effectief deze opstelling en stellen vast dat er zich in E inderdaad een aantal interferentielijnen tonen. De opdracht is dus geslaagd. Misschien kunnen we met zulk een

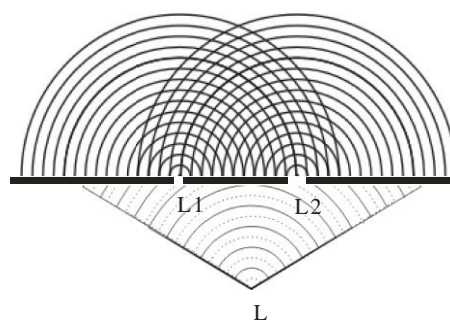
‘gesloten’ opstelling, een opstelling in de vorm van een driehoek - B1, m2, m1 – later nog wel ons voordeel doen.



4.6. Het ‘twee-spletenexperiment’ van Thomas Young.

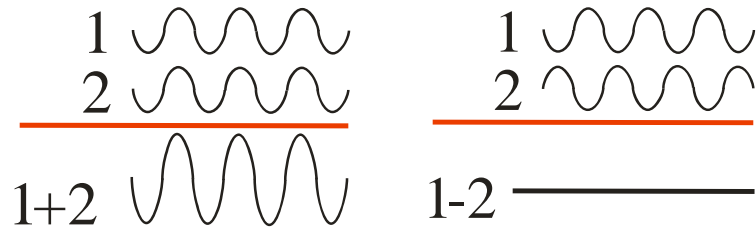
Verwijzen we naar ons eerste interferentie-experiment waarbij we een grote monochromatische lamp gebruikten. Twee speldprikken net naast elkaar in het zilverpapier dienden elk als lichtbron en beiden projecteerden op een muur een vijftal meter verder duizenden dunne interferentie-strepen.

Het is een variante op het twee-spletenexperiment van Thomas Young uit 1805. Op de tekening hieronder kunnen we de lichtbron L vergelijken met de natriumlamp en de twee lichtbronnen L1 en L2 met onze speldenprikken in het zilverpapier.



De tekening stelt dit alles in een plat vlak voor. Maar in werkelijkheid gaat het om delen van een reeks van concentrische bollen die steeds verder uitdijen en waarvan de golven van de ene lichtbron voortdurend in de andere dringen.

Vergelijken we het met golven in het water. Werpt men twee stenen tegelijk en op een korte afstand van elkaar in het water, dan ziet men de golven, veroorzaakt door de ene steen, de golven van de andere steen ‘doordringen’.



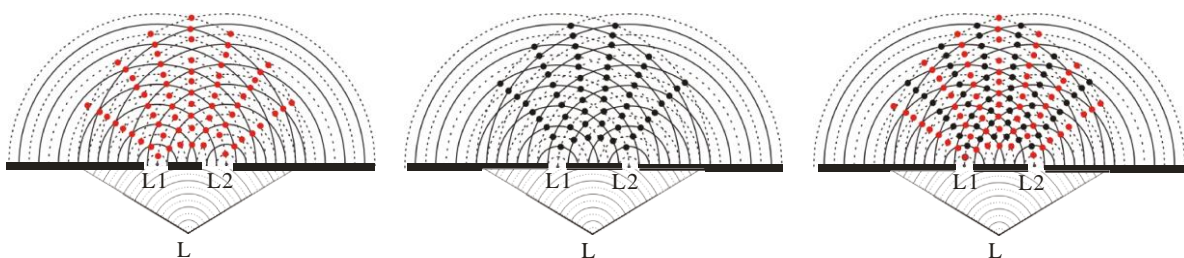
Waar twee golftoppen in elkaar overgaan heeft men een hogere top, waar twee golfdalen in elkaar overvloeien verkrijgt men een dieper dal. Waar een top een dal vult, blijft het water op zijn oorspronkelijk niveau staan.

Licht is ook een golfbeweging, maar er gaan tweeduizend golven in één mm. Heeft men hier twee samenvallende golftoppen, of twee samenvallende dalen, dan is het licht dubbel zo intens. Valt echter een top met een dal samen, dan heeft men het merkwaardige verschijnsel dat licht toegevoegd aan licht, leidt tot ... duisternis.

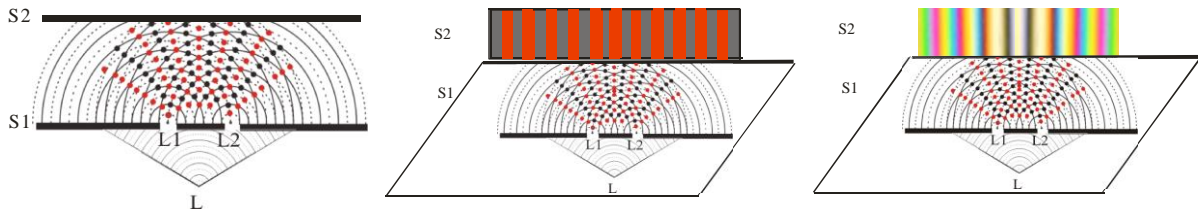
Kijken we naar de tekening hieronder links. De golven in stippellijn geven de dalen aan, de golven in volle lijn de toppen. Waar twee golftoppen of twee golfdalen samenkomen, werd een rode stip gezet. De lichtintensiteit is er dubbel.

De zwarte stippen op de tekening in het midden geeft geheel analoog de plaatsen aan waar een top een dal vult. Daar neutraliseren ze elkaar en is er geen licht.

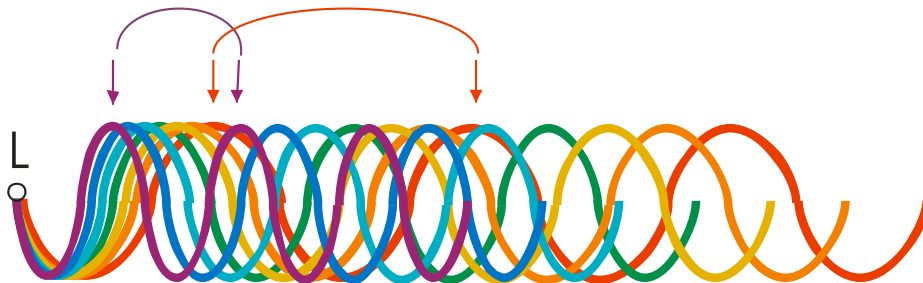
De tekening uiterst rechts brengt de beide vorige samen.



Houden we in gedachten dat het in werkelijkheid niet om cirkels maar om bollen gaat die steeds verder uitdijen. Denken we ons in dat de zwarte lijn bovenaan in de tekening hieronder links een scherm is dat we zien in bovenaanzicht. Bekijken we het in de tekening in het midden in vooraanzicht. We zien er de projecties op van de diverse lijnen, zoals we dat op onze muur zagen bij het experiment met de grote natriumlamp. Werken we niet met monochromatisch licht, maar met wit licht, dan zullen er zich strepen in interferentiekleuren tonen, zoals dat uiterst rechts is weergegeven.



Bij wit licht zijn er slechts enkele interferentielijnen te zien. De verschillende kleuren hebben elk een andere golflengte. Zo is de golflengte van het rode licht bijna dubbel zo groot als de golflengte van violet licht.

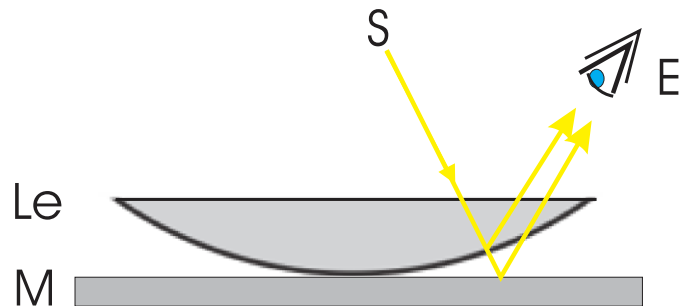
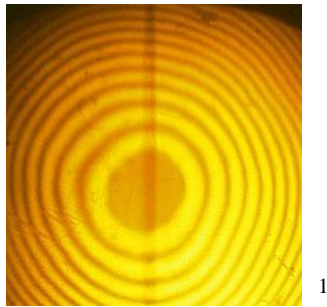


Na enkele golflengten zijn ze met elkaar vlug ‘uit de pas’ zodat de onderscheiden kleuren elkaar terug overlappen. Hun kleuren mengen zich en geven samen terug wit licht. Interferentie-experimenten met wit licht vereisen dan ook een grotere nauwkeurigheid dan experiment met licht van slechts één kleur.

4.7. De ringen van I. Newton

Ook de zogenaamde ringen van Newton zijn een interferentieverschijnsel. Newton maakte er melding van maar kon ze niet verklaren omdat hij licht niet zag als een golfbeweging maar corpusculair, als kleine deeltjes. De foto links geeft ons een bovenaanzicht, de tekening rechts een doorsnede. Op de tekening zien we een platbolle lens L_e die op de spiegel M ligt. Een lichtbundel vanuit de lichtbron S verlicht de hele spiegel. Hiervan is slechts een kleine deel

weergegeven. Een lichtstraal gaat door de lens en weerkaatst op de onderkant ervan. Een ander deel gaat door en weerkaatst op de spiegel. Beide lichtstralen worden door het oog in E opgevangen.



Men moet zich voorstellen dat in feite tal van lichtstralen over het hele lensoppervlak dit doen, en dat er lichtstralen die aan de onderzijde van de lens weerkaatsen, zullen samenvallen met andere lichtstralen vlakbij, op het glas net ernaast weerkaatsen. Zulke stralen verenigen zich en vormen de verschillende interferentiecirkels.

We zouden het enigszins kunnen vergelijken met het stukje zeepbel waarbij licht zowel aan de oppervlakte als aan de onderzijde weerkaatsten. Hier is het stukje zeepbel vervangen door de open ruimte tussen lens en spiegel. Het 'stukje' bestaat hier uit de open ruimte van lucht tussen lens en spiegel. Maar het principe blijft hetzelfde.

¹ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Newtonring#/media/Bestand:Newton-rings.jpg>