

Do try this at home

Natuurkunde is overal om ons heen; in het licht, in het water, in de lucht. Hoewel de meeste natuurkundige experimenten in laboratoria worden uitgevoerd, zijn veel natuurkundige verschijnselen ook gewoon thuis waar te nemen. Om jullie de wondere wereld van de natuurkunde zelf te laten ontdekken, zijn daarom door in de Robbert verscheidene proefjes te vinden. Die proefjes beslaan verschillende gebieden van de natuurkunde: van stromingsleer tot quantummechanica. Natuurlijk leggen we de proefjes ook uit. Voor het eerste proefje, op pagina 34 en 35, staat de uitleg erbij. Hier vind je de uitleg van de andere proefjes.

Quantum 1: gepolariseerd licht

Wat zie je?

Wanneer je een 3D-bril opzet en naar een lcd-scherm kijkt, terwijl je één van je ogen sluit, zie je het scherm goed, of helemaal niet, afhankelijk van of je het scherm horizontaal of verticaal houdt. Als je alleen je andere oog opent, is dit precies andersom. Houd je het scherm diagonaal, dan zie je in beide gevallen het scherm, doch minder helder.

Sluit je één oog en draai je het scherm zodat je het niet ziet, maar plaats je hier nu een glas van een tweede 3D-bril diagonaal voor, dan komt het scherm opeens weer tevoorschijn! Je hebt zojuist een quantummechanisch effect waargenomen!

Hoe kan dat?

Wanneer we gaan kijken naar de natuurkunde op de heel kleine schaal, dan zullen we zien dat de wereld zich op deze schaal anders gedraagt dan we verwachten: deeltjes gedragen zich volgens de wetten van de quantummechanica. In de quantummechanica gebeuren een aantal tegenintuïtieve dingen, waarvan we er hier twee zullen bespreken. Ten eerste kan een quantummechanisch deeltje in verschillende toestanden tegelijkertijd zijn. We noemen dat een superpositie. Echter, en dit is het tweede interessante punt, op het moment dat je de toestand van je deeltje gaat meten zal het vervallen tot slechts één toestand en zal het deeltje in deze toestand blijven. Het deeltje weet dus dat het gemeten is en reageert hierop. In de eerste instantie heb je een golf. Een golf kan zich ook op verschillende plekken tegelijkertijd bevinden. Maar op het moment dat je aan de golf gaat meten, vervalt deze golf tot een deeltje. Dit noemen we de golf-deeltjedualiteit.

In dit proefje maken we gebruik van quantumdeeltjes, namelijk de lichtdeeltjes, oftewel fotonen, die het scherm uitzendt en door de bril in je oog terechtkomen. Fotonen hebben quantummechanische eigenschappen; ze zijn gepolariseerd. Je zou dit kunnen zien alsof de fotonen een bepaalde richting hebben, ofwel horizontaal gepolariseerd, ofwel verticaal gepolariseerd. Omdat fotonen quantummechanische deeltjes zijn, kunnen ze ook in superpositie zijn; tegelijkertijd horizontaal én verticaal gepolariseerd.

Je gepolariseerde zonnebril werkt als een filter. Het ene glas laat enkel horizontaal gepolariseerde fotonen door, het andere glas enkel verticaal gepolariseerde fotonen. Een

Lcd-scherm zendt fotonen uit die in één enkele richting gepolariseerd zijn. Kijk je door het glas van de bril die fotonen doorlaat in de polarisatie van het scherm, dan zie je het scherm goed. Kijk je echter door het andere glas, dat enkel fotonen van de andere polarisatie doorlaat, dan zie je het scherm niet.

Houd je het scherm diagonaal, dan verkeren de fotonen in superpositie; ze zijn tegelijkertijd horizontaal én verticaal gepolariseerd. Wanneer zo'n foton in superpositie aankomt bij je brillenglas, zal de filter in het glas je foton als het ware meten. En nadat de fotonen gemeten zijn, worden ze geprojecteerd. Ongeveer de helft van de fotonen zal horizontaal gepolariseerd worden en de andere helft verticaal. Je ziet enkel het deel dat overeenkomt met de polarisatie van je glas. Je hebt een quantummeting gedaan!

Een echt quantummechanisch effect treedt op als je het licht van het scherm met één glas blokkeert en vervolgens een tweede glas diagonaal tussen het scherm en de eerste glas zet. Opeens zie je het scherm weer deels!

Dit werkt als volgt: omdat het eerste glas schuin staat ten opzichte van het lcd-scherm, komen de fotonen voor de eerste glas aan in superpositie. Zoals we eerder gezien hebben, is de kans dat een foton in superpositie door de filter gaat 50% en is de kans 50% dat het foton geblokkeerd wordt. Door de filter te passeren, worden de fotonen gemeten. De fotonen die de filter passeren, wordt nu dus geprojecteerd in de richting van de filter: diagonaal (die opgesplitst kan worden in een horizontale en verticale component). Omdat de eerste filter niet loodrecht op de tweede filter staat, kunnen sommige fotonen die uit de eerste filter komen, nu ook de tweede filter passeren en kun je opeens het scherm weer zien. Je ziet het scherm wel minder duidelijk dan zonder filter, immers 75% van de fotonen wordt door de filter geblokkeerd.

Quantum 2: de reflecterende cd en het tweespletexperiment

Wat zie je?

Wanneer je de zaklamp op de cd schijnt, zie je de reflectie op de muur als een bundel licht, misschien zie je een verschillende kleuren in de reflectie. Echter, wanneer je de laser op de muur schijnt, dan zie je meer reflecties: er staan verschillende laserpuntjes in een rechte lijn op de muur.

Hoe kan dat?

Je hebt vast wel eens gehoord dat licht zich kan gedragen als een deeltje en als een golf. Met dit proefje heb je aangetoond dat licht zich kan gedragen als een golf; de verschillende stipjes die je op de muur ziet, vormen een interferentiepatroon. Ter herinnering, een interferentiepatroon ontstaat als twee gelijke golven met elkaar overlappen. Als beide golven op zo'n overlappingspunt een maximum hebben, dan versterken beide golven elkaar. Heeft de ene golf op zo'n overlappingspunt een maximum, terwijl de andere golf een minimum heeft, dan is het nettoresultaat nul en heffen beide golven elkaar op. Stel je bijvoorbeeld voor dat je bij een concert bent met aan beide kanten van het podium een geluidsbox. Uit beide boxen komen dezelfde geluidsgolven die met elkaar zullen

interfereren. Op sommige plekken is het geluid dus heel hard (maximum), terwijl, als je iets opzij stapt, het geluid veel minder goed te horen is. Je bent dan in een minimum terechtgekomen.

Laserlicht is monochromatisch. Dat betekent dat een laser slechts licht uitzendt van een enkele golflengte (of een kleine bandbreedte aan golflengtes).

Een cd slaat muziek digitaal op, door gebruik te maken van bits. Deze digitale informatie wordt op het cd-oppervlak opgeslagen als kleine putjes. Deze putjes zijn weer gearrangeerd in een dunne, spiraalvormige groef, zoals op een langspeelplaat, alleen dan veel dichter op elkaar. De afstand tussen de groeven is doorgaans enkele micrometers; je kunt deze met het blote oog niet zien.

Wanneer je licht op de cd schijnt, dienen de groeven als een diffractietralie voor de reflectie van het licht; dat betekent dat de putjes het licht in verschillende richtingen reflecteren. De golven van dit gereflecteerde licht interfereren met elkaar en zullen elkaar op sommige punten versterken of verzwakken. Wanneer je monochromatisch licht op de cd laat reflecteren, zoals van een laser, heffen de verzwakkingen elkaar op en ontstaat hierdoor een interferentiepatroon.

Het licht dat uit een zaklamp komt is niet monochromatisch. Dat betekent dat het niet maar één golflengte heeft, maar uit allerlei verschillende golflengten bestaat (verschillende kleuren). Dit betekent dat de minima en maxima van verschillende golflengten elkaar niet helemaal uitdoven en je ziet dus een bundel licht. Als je naar een cd kijkt, zie je trouwens vaak een regenboogspiegeling. Dit zijn de verschillende kleuren licht, die allemaal net een andere golflengte hebben en dus allemaal net in een andere richting worden gereflecteerd.

Het experiment dat je net gedaan hebt heet ook wel het dubbelspleetexperiment of het experiment van Young. Met een dergelijk experiment toonde Young aan dat licht zich als golf kan gedragen. Dat betekent trouwens niet dat licht zich niet als deeltje kan gedragen.

Dit experiment wordt vaak gebruikt om het verschijnsel 'superpositie' in de quantummechanica aan te duiden. Want wat blijkt, als je geen licht op de tralie afstuurt, maar individuele elektronen, die vaak worden gezien als deeltjes, dan ontstaat er ook een interferentiepatroon. Een elektron kan zich dus ook als golf en als deeltje gedragen. Ze leggen dit verder uit in dit filmpje: www.youtube.com/watch?v=Q1YggPAzho.

Als je het leuk vindt, kun je de afstand tussen de groeven in de cd berekenen met de volgende formule:

$$d \sin(\theta) = m\lambda,$$

met

d : de afstand tussen de groeven

θ : de hoek van diffractie, zie hieronder hoe je θ kunt berekenen

λ : de golflengte van de laser (als dat niet op de laser staat, rood licht is ongeveer 630 nm en groen licht ongeveer 530 nm)

θ is hierbij de hoek van diffractie en die kun je als volgt berekenen:

$$\theta = \tan^{-1}(x/D)$$

D : de afstand van de cd tot de muur

x : de afstand van de middelste reflectiepiek tot een van de andere reflectiepieken

m : de hoeveelste piek na de middelste je hebt gemeten (dus als je de afstand van de middelste piek tot de tweede piek na het midden hebt gemeten, is m 2).

Kaars doven 1

Wat zie je?

Het kaarsje zal uitgaan!

Hoe kan dat?

Door bakpoeder en azijn te mengen, ontstaat het gas CO_2 . CO_2 doet de vloeistof bruisen. Als je deze CO_2 over het kaarsje giet, neemt deze CO_2 de plek van zuurstof in en komt er te weinig zuurstof bij het kaarsje. Het kaarsje zal uitgaan. Een kaars heeft immers zuurstof nodig om te kunnen branden.

Kaars doven 2

Wat zie je?

Het kaarsje gaat uit en het glas vult zich met limonade. Wanneer je het glas plaatst, zal de limonade onder het glas weggedrukt worden en zich vooral buiten het glas bevinden. Nadat de kaars is uitgegaan, zal het glas zich vullen met limonade. Als je goed kijkt, zie je dat de limonade binnen het glas zelfs iets hoger staat dan buiten het glas.

Hoe kan dat?

Als je het glas boven het waxinelichtje houdt, zal de kaars nog branden. De lucht in het glas wordt hierdoor veel warmer dan de lucht buiten het glas. Omdat warme lucht meer beweegt dan koude lucht en dus meer ruimte inneemt dan koude lucht, verhoogt de luchtdruk in het glas. Om de totale druk binnen het glas zo veel mogelijk gelijk te houden aan de druk buiten het glas, zal de limonade uit het glas worden geduwd wanneer je het glas over het waxinelichtje plaatst.

Vervolgens zal het kaarsje langzaam alle aanwezige zuurstof in het glas omzetten in CO_2 . Wanneer alle zuurstof uit het glas is gebruikt, heeft het kaarsje geen zuurstof meer om te branden en zal het langzaam uitgaan. Nadat het kaarsje gedoofd is, koelt de lucht onder het glas langzaam weer af. De lucht krimpt dus weer en de luchtdruk neemt af. Er zal dus weer limonade het glas instromen totdat de druk buiten en binnen het glas gelijk is. Als je goed kijkt, zie je dat de limonade binnen het glas nu zelfs hoger staat dan buiten het glas (hoe smaller het glas is dat je gebruikt, hoe beter je dit ziet). Dit komt omdat er, naast zuurstof, in eerste instantie ook waterdamp in het glas zat. Doordat de temperatuur onder het glas daalt, zal deze waterdamp tegen de glaswand condenseren en dus vloeibaar worden. En omdat water in vloeibare vorm minder ruimte inneemt dan in gasvorm, is er dus ruimte in het glas voor meer limonade.

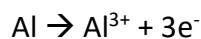
Zuil van Volta

Wat zie je? Het lampje gaat branden en als je de multimeter aansluit, meet je een voltage over de toren: je hebt een batterij gebouwd!

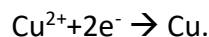
Hoe kan dat?

Om te begrijpen hoe er een spanning over je toren komt te staan, zullen we eerst kort kijken hoe een batterij werkt. Een batterij bestaat uit twee metalen die we elektrodes noemen. Het ene metaal vormt de pluspool, ook wel de kathode genoemd en het andere metaal de minpool, de anode. Wanneer we een geleidend voorwerp aan de batterij aansluiten, bijvoorbeeld een metalen draad (zoals koperdraad), zullen de metalen proberen elkaars elektronen aan te trekken. Voor één van de metalen (de kathode) zal dit beter lukken. Dit metaal trekt dus, door de draad, elektronen van het andere metaal naar zich toe, waardoor er een stroom gaat lopen. Omdat elektronen negatief geladen zijn, wordt de kathode hierdoor snel negatiever. Om te voorkomen dat de kathode al snel geen elektronen meer aantrekt, worden de twee metalen beide aan een kant van een elektrolyt geplaatst; de elektrolyt zit dus tussen de twee metalen in. Door het contact met de elektrolyt vormen de metalen positief geladen ionen (zie de vergelijkingen hieronder). De positieve ionen van de anode kunnen door de elektrolyt heen naar de kathode bewegen en met de elektronen die naar de kathode zijn gestroomd recombineren. Dan zijn beide elektroden weer neutraal geladen. De batterij is leeg als alle ionen aan de kant van de kathode zitten.

Dit is precies wat er in onze zuil gebeurt. Laten we eens naar een trio van aluminium, keukenpapier en koper kijken. Het aluminium vormt de anode, het koper is de kathode en het keukenpapier dient als elektrolyt. Door contact met de elektrolyt vindt in het aluminium een chemische reactie plaats waarbij een aluminiumion ontstaat en drie elektronen vrijkomen:



Als je de batterij met een elektrisch apparaat verbindt, bijvoorbeeld een multimeter of een lampje, zullen de elektronen, via de verbinding, naar het koper stromen. Hier reageren ze weer:



Hierdoor wordt de kathode steeds negatiever geladen en de anode steeds positiever. De positieve Al^{3+} -ionen zullen zich door de elektrolyt naar de kathode verplaatsen, zodat de batterij weer neutraal wordt. De batterij is 'leeg' als alle positieve ionen door de elektrolyt van de anode naar de kathode zijn gestroomd.

In de zuil van Volta plaats je eigenlijk verschillende minibatterijtjes in serie. Brandt je lampje nog niet? Voeg dan nog een aantal cellen van aluminiumfolie, keukenpapier en een muntje toe.