

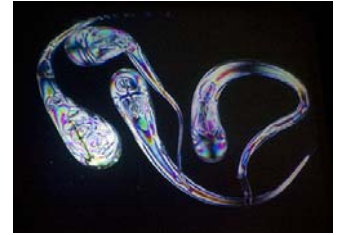
OuNa 5 Druppels van prins Rupert

NVOX, 37, nr. 9, november 2012

Ruud Brouwer, Don Bosco College te Volendam, rbrouwer@donboscollege.com

Het nieuwe natuurkunde HAVO eindexamenprogramma 2015 bevat het nieuwe verplichte SE-domein D2 'functionele materialen'. Is dit een pleonasme of zouden er ook *niet*-functionele materialen bestaan? Ik ben op zoek gegaan naar niet-functionele materialen en tijdens mijn speurtocht kwam ik onder andere uit op 'de druppels van Prins Rupert'.

Deze vijfde OuNa legt voor mijzelf zeer waarschijnlijk de basis voor het behandelen van het hierboven genoemde domein. Van de minister mag je namelijk met de SE-domeinen doen wat je wilt.



Spanning in de druppels

Prins Rupert

De glazen 'druppels' zijn rond 1644 uitgevonden door de Beierse prins Rupert. Naar het schijnt zou hij samen met de Engelse koning Charles II de druppels hebben gebruikt als 'practical joke'. Als je de staart van de druppel afbreekt, schrikt het publiek want de druppel implodeert.



Imploderende druppel

De koning en de prins deden het puur voor de lol en daarom vind ik de druppelproef een uitstekende kandidaat voor een niet-functioneel materiaal. Rupert was een van de medeoprichters van de Royal Society en zijn druppels zijn o.a. door zijn vriend Robert Hooke onderzocht. Dat het verschijnsel in die tijd veel aandacht trok, bewijst dit gedicht uit 1663:

*And that which makes their Fame ring louder,
With much ado they shew'd the King
To make glasse Buttons turn to powder,
If off the[m] their tayles you doe but wring.
How this was donne by soe small Force
Did cost the Colledg a Month's discourse.*

De proef

Je kunt de druppels eenvoudig maken door gesmolten glas in een emmer koud water te laten vallen. Dit is vast een leuk klusje voor de TOA. Het glas koelt af en stolt in de vorm van een kikkervisje met een lange dunne staart. Terwijl het glas aan de buitenkant begint te stollen, blijft het binnenste nog een tijdje vloeibaar. Als dan de binnenkant uiteindelijk ook stolt, krimpt het glas. Daardoor ontstaat een aanzienlijke spanning in de druppel. Deze inwendige spanning geeft de druppel bijzondere eigenschappen. Door de druppel te bekijken via een polarisatiefilter worden de inwendige spanningen zichtbaar. Het bolle uiteinde is heel erg sterk en kan zelfs de slagen van een hamer weerstaan. Maar als je de dunne staart afbreekt dan ontploft het (van dit soort verrassende demo's genieten de leerlingen) en blijft slechts een wit poeder over. De aanzienlijke hoeveelheid potentiële energie die is opgeslagen komt vrij, waarbij een schokgolf zich met enorme snelheid door de druppel voortplant.

Hooke lakte de druppel en bond hem in leer. Nadat de staart was afgebroken, keek hij naar de splinters onder een microscoop. 'Fracture mechanics' kwam pas tot bloei in WO-I toen de Britse vliegtuigenieur Griffith een model wist op te stellen waarmee hij kon voorspellen wanneer de spanning groot genoeg is om glas te breken. Uit zijn experimenten bleek dat bij broze materialen op het moment van scheuren de diepte van de scheur d vermenigvuldigd met de spanning σ ongeveer constant was: $d \cdot \sigma \approx \text{constant}$.

Pas in 1994 kon de snelheid waarmee de schokgolf door de druppel beweegt met een snelle camera gemeten worden: 6400 km/h.

Voor de veiligheid is het verstandig om de knal in een doorzichtige pot te laten plaatsvinden.



De voorbereiding



De veilige uitvoering



Joachim in actie

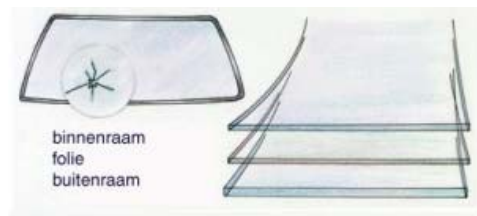
Laat de staart door een gat in het deksel uitsteken en breek hem af. Zonder pot is het met een veiligheidsbril op, terwijl je de druppel met een handschoen in je vuist vasthoudt, ook goed te doen. Je breekt de staart af en na het openvouwen van je handschoen kun je het witte poeder laten zien. Vergeet niet voordat je de staart afbreekt nog even met een hamer op de bolle kant van de druppel te slaan om te laten zien hoe sterk de druppel is.

Veiligheidsglas

De druppels worden toch weer functioneel als je inziet dat het eigenlijk verre voorlopers zijn van het moderne geharde glas in auto's. Ook dit valt na een breuk niet in scherpe stukken uiteen maar wel in kleine brokstukken door de interne spanning.

Lang na de ontdekking van de druppels en niet lang na de uitvinding van de auto werd in 1903 bij toeval de eerste soort veiligheidsglas door de Franse scheikundige Benedictus ontdekt. Hij stootte per ongeluk een erlenmeyer van tafel die hij eerder had gebruikt en nog niet had schoongemaakt. De erlenmeyer barstte, maar viel niet in scherven uit elkaar. Wat bleek: aan de binnenkant was als residu van een eerdere proef een dun laagje lijmachting plastic (collodion of cellulosenitraat) achtergebleven die de scherven bij elkaar hield. Benedictus schreef een notitie, plakte 'm op de fles en dacht er niet meer aan.

Een tijd later las hij in de krant een verhaal over een jong meisje dat bij een auto ongeluk nare snijwonden had overgehouden van de gebroken voorruit. Toen ging hem opeens een licht op. In zijn lab zocht hij snel de gebarsten erlenmeyer en begon direct de mogelijkheden te onderzoeken om autoruiten veiliger te maken. Men zegt dat nog op dezelfde avond de eerste strook veiligheidsglas is ontstaan. Dit type glas kreeg de naam 'triplex': tussen twee lagen glas zit een laag collodion. Door te verwarmen plakken de lagen aan elkaar.



Triples autoruit

In het boekje *Lucky Science* schrijven M. & J. Roberts dat je met nagellak (waar collodion in zit) en een gloeilamp de ontdekking van Benedictus kunt nabootsen. Smeer de gloeilamp lekker dik in. Sluit de gloeilamp aan en door de warmte zullen de oplosmiddelen snel verdwijnen. Als alles droog is, kun je de lamp op de vloer laten vallen en zal de glazen bol van de lamp wel barsten hebben, maar niet in scherven breken.

In de jaren '20 en '30 werd het triplex veiligheidsglas van Benedictus vervangen door het veiligheidsglas dat gebaseerd is op het zelfde principe als de druppels van prins Rupert. Het kleine gruis dat overblijft als een ruit met voorspanning breekt, is niet scherp en levert nog minder gewonden op dan met triplexglas. Hoewel ze zijn begonnen als een grap, blijken de druppels functioneel te zijn.

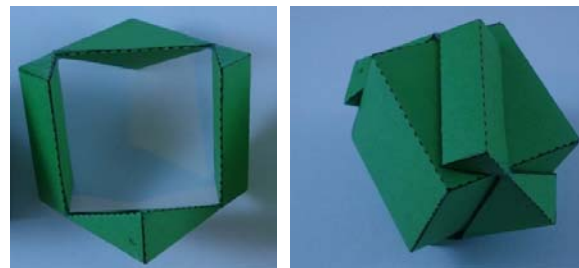
Havo domein D2 = Serendipiteit?

Tijdens een bijeenkomst van SLO over de invulling van de SE-onderdelen van de NiNa-syllabus bleek dat een zinvolle invulling van het verplichte SE-domein D2 geen makkelijke opdracht is. 'Smart materials' op de havo? Ik zou hierover graag een keer in NVOX een voor de havo-ist geschikte tekst met afwisselende proeven willen lezen. Ik denk dat met OuNa de invulling van domein D2 wel lukt. De ontdekkingen van Benedictus en Rupert zijn namelijk schoolvoorbeelden van serendipiteit: *het vinden van iets onverwachts en bruikbaar terwijl je op zoek bent naar iets totaal anders*. Met 'Serendipiteit' kan domein D2 ingevuld worden met voldoende natuurkundige diepgang en afwisseling tussen interessante ontdekkingen, theorie en practicum: Röntgenstraling, het theezakje, post-it, velcro, de wet van Archimedes, sliks van formule 1 auto's ... en de kubus van prins Rupert.

De kubus van prins Rupert

Waarom zijn de vierkante putdeksels in de straat vrijwel allemaal vervangen door ronde putdeksels? Twee leuke maar onjuiste leerling antwoorden zijn: 'omdat je ze rollend beter kunt verplaatsen' en 'omdat je dan geen scherpe hoeken hebt en je niet kunt bezeren'. Het juiste bekende antwoord is dat een ronde putdeksel nooit in de put kan vallen en een vierkante (op zijn kant langs de diagonaal) wel. Het is zeer onwaarschijnlijk dat prins Rupert aan putdeksels dacht toen hij zijn vraag over zijn kubus formuleerde: *kun je twee identieke kubussen door elkaar heen laten glijden?*

Op het eerste gezicht zou je denken: nee. Maar het antwoord is dat zelfs een iets grotere kubus nog door een kleinere heen kan. Het bewijs laten we aan de wiskundigen (de ribbe van de grote kubus is $\frac{3}{4}\sqrt{2} = 1,06$ keer groter), maar voor havo natuurkunde is het een mooie ontwerp opdracht om te laten zien dat het écht kan!



Grote kubus glijdt door kleine kubus