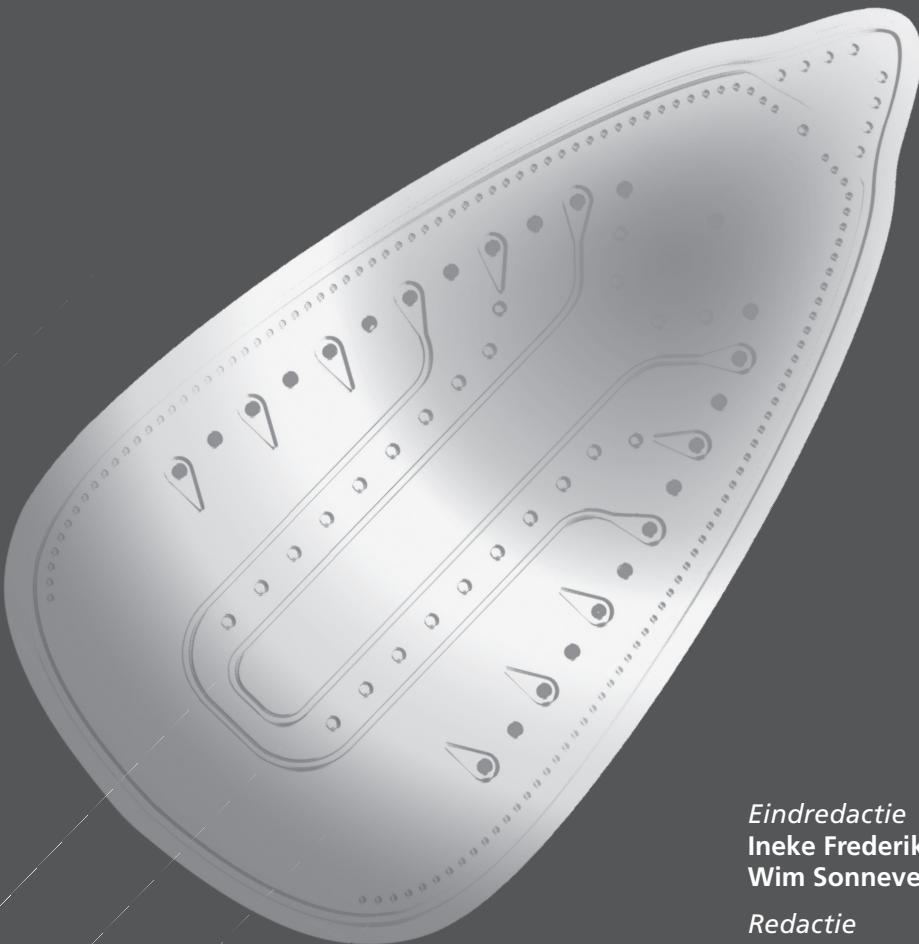


# Showdefysica 3

NATUURKUNDE LAAT JE ZIEN



*Eindredactie*  
Ineke Frederik  
Wim Sonneveld

*Redactie*  
Ed van den Berg  
Peter Dekkers  
Karel Langendonck  
Freek Pols  
Wouter Spaan  
Kirsten Stadermann  
Norbert van Veen

# Showdefysica 3

## Natuurkunde laat je zien

Ineke Frederik (eindredactie)  
Wim Sonneveld (eindredactie)  
Ed van den Berg  
Peter Dekkers  
Karel Langendonck

Freek Pols  
Wouter Spaan  
Kirsten Stadermann  
Norbert van Veen



Utrecht, Nederland 2023

**Projectondersteuning en bureaudactie**  
Clasien Lever-de Vries

**Ontwerp en vormgeving omslag en binnenwerk**  
Tim Jacobs, Identim, [www.identim.nl](http://www.identim.nl)

**Druk**  
FIZZ marketing + communicatie, [www.fizz.nl](http://www.fizz.nl)

**Foto omslag**  
Darrell Taylor, Senior Channel Marketing Manager, FLIR Systems Ltd

**ISBN/EAN**  
978-90-8797-018-5

**Bestelwijze**  
U kunt het boek bestellen via [www.nvonwebshop.nl](http://www.nvonwebshop.nl)

**NVON-secretariaat**  
[secretariaat@nvon.nl](mailto:secretariaat@nvon.nl)

**© 2023 NVON**  
**Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen, gekopieerd, gedigitaliseerd, elektronisch worden doorgegeven of op welke wijze dan ook vermenigvuldigd zonder schriftelijke toestemming van de NVON.

Uiteraard is in de artikelen veel zorg besteed aan de beschrijving van praktisch werk en ook aan de veiligheid daarbij. De NVON, de redactie en de auteurs aanvaarden echter geen aansprakelijkheid voor schade die eventueel is ontstaan bij het uitvoeren van dit praktisch werk.

## Inhoud

Foreword	David Featonby	5
Voorwoord	Ineke Frederik en Wim Sonneveld	6
Dit boek	Ineke Frederik	7
Wat kun je met demonstraties bereiken?	Peter Dekkers	9
Heen-en-weer-denken bij demonstraties	Wouter Spaan en Ed van den Berg	11
Argumentatie en overtuigingskracht	Freek Pols en Peter Dekkers	15
Nature of Science (NoS) of de aard van wetenschappen	Kirsten Stadermann en Peter Dekkers	21

### A Natuurwetenschappelijke vaardigheden

A01 Resonantie	Ed van den Berg, Paul Logman, Norbert van Veen	28
A02 Tot op de bodem	Peter Dekkers	30
A03 Bepaling van $g$	Freek Pols	32
A04 Cappuccino effect	Kirsten Stadermann	35
A05 Magie of nie?	Peter Dekkers	38
A06 Cilinderpuzzel	Peter Dekkers	41
A07 Een fontein in een kolf	Freek Pols	44
A08 Instabiele systemen	Freek Pols	46
A09 Vlammenkoeler	Kirsten Stadermann	48
A10 Opgesloten kaarsen	Norbert van Veen	50
A11 Licht in het duister	Freek Pols	52
A12 Rol en stop	Freek Pols	54
A13 Muziek in een koffiekopje	Kirsten Stadermann	56
A14 Led aansteken en uitblazen	Peter Dekkers	58
A15 Radiometer van Crookes	Kirsten Stadermann	61

### B Begripsontwikkeling

B01 Vlammen op de draaitafel	Ed van den Berg	66
B02 Grafieken lopen met snelle feedback	Ed van den Berg	68
B03 Kracht en beweging met een bowlingbal	Ed van den Berg, Onne Sloten, Loran de Vries	71
B04 Hoverbal, mechanica zonder wrijving	Ed van den Berg, Onne Sloten, Loran de Vries	74
B05 Mes, fruit, hamer	Ed van den Berg, Frank Schweickert	76
B06 Mandarijn	Karel Langendonck	78
B07 G-kracht	Karel Langendonck	80
B08 Draaiende blokjes	Karel Langendonck	82
B09 Heuvel op, heuvel af	Freek Pols	84
B10 Botsing	Freek Pols	86
B11 Sinaasappeldraaimolen	Kirsten Stadermann	88
B12 Dames en heren	Wouter Spaan	90
B13 Spankracht bij een slinger	Norbert van Veen	92
B14 Roterende balletjes	Norbert van Veen	94
B15 Versnellingsmeter in een pot	Norbert van Veen	96
B16 Krachtige ballon	Norbert van Veen	98
B17 In de lift	Norbert van Veen	100
B18 Koken door afkoelen	Ed van den Berg	102
B19 Temperaturen optellen?	Ed van den Berg, Onne Sloten, Loran de Vries	104
B20 Parallax visualiseren	Ed van den Berg	106
B21 Vlammend nieuws	Peter Dekkers	108

B22	Schaduw van een vlam	Freek Pols	110
B23	Condensatiewarmte in infrarood	Norbert van Veen	111
B24	Afkoelen metalen bollen	Norbert van Veen	114
B25	Een ballon die alles kan	Norbert van Veen	116
B26	De bol van 's GravesAnders	Norbert van Veen	118
B27	Staande golf met een elektrische tandeborstel	Karel Langendonck	120
B28	Het oog op tafel	Wouter Spaan	123
B29	Schoenendoosbeamer	Karel Langendonck	126
B30	Houtje-touwtje-harmonica	Karel Langendonck	128
B31	Draaiende ballon	Karel Langendonck	130
B32	Natuurkunde van de panfluit	Freek Pols	132
B33	Complementaire vlag	Kirsten Stadermann	134
B34	Cirkelgolf	Karel Langendonck	136
B35	Meten aan 'sterren'	Wouter Spaan	138
B36	Volgaam blikje	Norbert van Veen	141
B37	Onzichtbaar door optica	Norbert van Veen	142
B38	Klinkende staaf	Ad Mooldijk	144
B39	Zingende staaf	Norbert van Veen	146
B40	Transit van een bolletje	Norbert van Veen	148
B41	Zwart of wit	Norbert van Veen	150
B42	Emissie in infrarood	Norbert van Veen	152
B43	Kleuren onder gekleurd licht	Norbert van Veen	154
B44	Lichtsnelheid in een vloeistof	Norbert van Veen	156
B45	Spectra	Norbert van Veen	158
B46	Balletje in een buis	Norbert van Veen	160
B47	Leslokaal als oog	Wim van Nood	162
B48	Elektronen en plakband	Ed van den Berg, Onne Sloten	164
B49	Magnetische druiven	Kirsten Stadermann	166
B50	Balletje tik	Wouter Spaan	168
B51	Lorentzkracht op geladen deeltjes	Wouter Spaan	170
B52	Trage lampjes	Wouter Spaan	172
B53	Vreemde fietslampjes?	Wouter Spaan	174
B54	Kirchhoff	Wouter Spaan	176
B55	Lading meten	Norbert van Veen	178
B56	Goochelen met een spiegel	Wouter Spaan	180
B57	Fluorescerende olijfolie	Rutger Ockhorst	182
B58	Inductie buizen	Norbert van Veen	184

### C Bijzondere gelegenheden

C01	Roterende munten	Ed van den Berg	188
C02	Luidspreker van papier	Karel Langendonck	190
C03	Automatische waterhoogte	Norbert van Veen	192
C04	Wolkvorming	Norbert van Veen	194
C05	Rondjes draaien in een wijnglas	Norbert van Veen	196
C06	Optica met ledlampen	Norbert van Veen	197
C07	Contactloos duwen	Ed van den Berg, Frank Schweickert	200
C08	Zwervende ring	Freek Pols	202

Korte demonstraties (auteur: Ed van den Berg) zijn te vinden op de pagina's:

26, 64, 70, 73, 77, 89, 91, 97, 101, 105, 109, 117, 119, 122, 125, 127, 129, 131, 135, 137, 140, 145, 163, 167, 169, 177, 179, 186, 189, 191, 195, 199.

[Overzicht testers en figuren](#)

204

[Over de auteurs](#)

206

[Register](#)

208

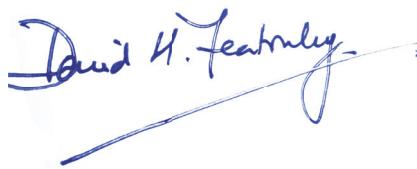
## Foreword

A key role of teachers is to engage their students. This is very important if the teaching of physics is to be effective. We may have to win back students' interest where enthusiasm has been damaged in earlier years or even kindle an interest for the first time, but it is never too late. Too many students can be dismissive of a subject they mistakenly regard as boring or just too hard. How encouraging it is when a student remarks "when I joined your class Physics didn't interest me at all, but now....." Or maybe in later years, "I would never have gone on to study physics or engineering without your enthusiasm for the subject!"

Yes, we have syllabuses to complete, but often what is remembered by students are those diversions off syllabus that take only a few minutes, yet engage, interest and challenge. We all should all have a bank of short demonstrations, experiments, challenges that can be used in class that will do that.

Showdefysica 3 is a collection of tried and tested demonstrations for teachers by teachers and is a fantastic resource for those wishing to add something extra to their lessons and out of class activities. Having detailed practical information from other teachers is always useful, especially as these demonstrations have been trialled and outcomes confirmed by more than one teacher and class before finding their way into the book. The book will give teachers concrete ideas for how to use the demonstrations both in the lessons and beyond, as well as physics background, follow up material and ideas for discussion. It is the sort of book to have on the shelf, to check when a topic is being prepared or revised as it will provide all anyone needs to add some extra to a lesson or just something challenging for fun. As well as the demonstrations themselves, there is useful information and references that will add to anyone's presentation of the topics. The book gives very concrete teaching tips, context ideas and even possible questions to ask to stimulate further understanding.

This is the kind of book I wish had had on the shelf as a young teacher, but also as someone in more mature years wanting to rejuvenate and enliven my well worn ideas.



David Featonby

Former Head of Physics and Science (Walbottle Campus, Newcastle, England)

Institute of Physics Teacher Network Coordinator

Science on Stage Europe, Executive Board Member



## Voorwoord

### Plezier

Demonstreren is leuk. Niks verraden, een show maken en vooral de leerlingen prikkelen actief mee te denken. Geef een theatrale draai aan je demonstratie. Laat door je gedrag zien dat het demonstreren van natuurkundige verschijnselen verrassend, inspirerend, leuk en leerzaam is. Zorg dat jij zelf én je leerlingen genieten van een onvergetelijke demonstratie. Dit boek hoopt daarbij te helpen.

De leraar is nu eenmaal de hoofdpersoon als het gaat om plezier te beleven aan natuurkunde!

Dit boek legt net als beide vorige het accent op het gebruik van demonstraties in het onderwijs. Het is een boek voor leraren en TOA's. Er is vooral aandacht voor wat de demonstrateur moet doen om te zorgen dat zijn leerlingen zoveel mogelijk leren.

Natuurwetenschappelijke vaardigheden leren, natuurkundige begrippen leren en ook plezier beleven aan de puzzels die het vak ons biedt. De beschreven demonstraties zijn zelden nieuw. Het accent dat dit boek op de vakdidactiek legt is dat wel. Daarin is dit boek zelfs uniek! De beschrijvingen steunen de docent bij het krijgen van een optimaal leereffect in de praktijk van het eigen onderwijs. Het is geschreven door vakdidactici en expert-docenten en in de praktijk getest door collega's en TOA's.

Veel is in dit deel van Showdefysica hetzelfde gebleven als in de beide eerdere delen. De indeling in natuurwetenschappelijke vaardigheden (A), begrippen (B) en bijzondere gelegenheden (C). De symbolen die gebruikt zijn om het vakgebied aan te geven. De nadruk op vakdidactiek en op eenvoudig uit te voeren demonstraties. In dit deel van Showdefysica zijn ook nieuwe accenten. Hoe besteed je bijvoorbeeld in de natuurkunde lessen meer aandacht aan begrip van de aard van de natuurwetenschappen? Hoe laat je het meten en verwerken van waarnemingen met moderne technologische hulpmiddelen (sensoren op je telefoon, infraroodcamera) zien?

### Dank

Bij deze uitgave is wederom een groot aantal natuurkundedocenten en TOA's betrokken. Zij hebben getest, commentaar geleverd en foto's gemaakt. Dankzij hun inbreng kreeg het boek een kwaliteitsimpuls.

Namens het auteursteam,

Ineke Frederik en Wim Sonneveld  
(Eindredacteuren)

## Dit boek

Showdefysica 3, Natuurkunde laat je zien bevat beschrijvingen van natuurkundige demonstraties. Het bestaat uit drie delen.

### A: Natuurwetenschappelijk denken en natuurwetenschappelijke vaardigheden

Wat betekent 'Het is wetenschappelijk bewezen'? Waardoor is dat zo waardevol? Wat moet je doen om iets wetenschappelijk aan te tonen, en hoe zeker ben je dan van je zaak? De hier beschreven demonstraties draaien om de vaardigheden die in wetenschappelijk onderzoek onmisbaar zijn, zoals zorgvuldig observeren, een probleem kritisch analyseren, een model ontwikkelen om waarnemingen te verklaren, of verwachtingen te toetsen met een experiment. De kennis die daarbij ontstaat is door mensen gemaakt. Die kennis is zo zeker als kennis ooit wordt en toch altijd weer vatbaar voor verbetering.

### B: Begripsontwikkeling

In onderwijs gaat het erom dat leerlingen iets leren. Dat zij een bouwwerk van consistente ervaringen en begrippen opbouwen. De beschrijvingen bevatten stap voor stap suggesties voor de didactische uitvoering, inclusief mogelijkheden om de leerlingen aan het denken te zetten. De hier beschreven demonstraties zijn motiverend en spannend. Ze stimuleren het natuurkundig denken en helpen leerlingen om een natuurkundig begrippennetwerk op te bouwen.

### C: Bijzondere gelegenheden

Demonstraties spelen ook een rol buiten de klas: tijdens een open dag, bij een jubileum, bij een afscheid. Hier vind je voorbeelden van demonstraties die aanzetten tot denken, maar die ook een verrassende, speelse draai hebben, waardoor ze geschikt zijn om bij bijzondere gelegenheden te tonen. De onderwerpen behoren lang niet altijd tot het schoolse natuurkundeprogramma. De hier beschreven demonstraties doen vooral een beroep op gezond verstand. De uitkomst is soms contra-intuïtief. De charme van natuurkunde komt in dit deel optimaal tot haar recht!

Binnen elk der drie delen is een natuurkundig inhoudelijke ordening aangebracht. Dit is aangegeven met symbolen.



**Materie en Energie:** vloeistoffen, gassen, warmtetransport, vooral basisnatuurkunde



**Mechanica:** statica, wetten van Newton, traagheid, beweging



**Elektriciteit en magnetisme:** spanning, stroom, weerstand, transport, bewegende magneten, wet van Lenz



**Golven en straling:** geluid, resonantie, geometrische optica



**Moderne fysica**

---

### **Origineel?**

Zijn de beschreven demonstraties allemaal origineel? Wij denken van niet. Ze zijn geïnspireerd door eerdere versies van het experiment en door de auteur bewerkt zodat ze bij de didactische categorieën van dit boek passen. Ze zijn ze ruim getest in het Nederlandse natuurkunde onderwijs. Niet alleen door de auteurs van dit boek- alle ervaren leraren en natuurkunde didactici- maar ook door een grote groep natuurkunde leraren en TOA's die bereid waren mee te werken.

### **Meer of minder diepgang?**

Precies aangeven voor welke leerlingendoelgroep de demonstratie bestemd is, bleek lastig te zijn. Gaat het vooral om het waarnemen van verschijnselen en om beginnende vaktaalontwikkeling dan zit je op basisschool- en onderbouw niveau. Kwalitatieve verklaringen op verschijnsel niveau komen in de onderbouw van het voortgezet onderwijs aan bod. Zodra begrippenketens nodig zijn voor een verklaring kom je al in hogere klassen van het voortgezet onderwijs terecht. Moet je relaties leggen tussen verschillende deelgebieden van de natuurkunde of is kwantitatief redeneren noodzakelijk dan is bovenbouw vwo/havo of hbo-niveau aan de orde.

## Wat kun je met demonstraties bereiken?

Showdefysica laat de vele mogelijkheden van demonstraties in de natuurkundeles zien. De nadruk ligt telkens op het betrekken van leerlingen bij de demonstratie. Alleen dan kan er immers leereffect optreden. In deel 1 gebruikten we veelal P(E)OE als didactische aanpak, in deel 2 werd daarnaast de conceptcartoon opgevoerd. Dit derde boek gebruikt opnieuw deze didactische insteeken, maar nu willen we ook natuurwetenschappelijke vaardigheden, redeneren met bewijsmateriaal uit experimenteren en werkwijzen bij onderzoeken en ontwerpen nader uitwerken en van voorbeelden voorzien. Bij natuurwetenschappelijke vaardigheden- deel A van dit boek krijgt de docent suggesties over hoe je de leerlingen kunt laten nadenken over de aard van de natuurwetenschappen en meer speciaal de natuurkunde. Wat betekent het dat iets experimenteel is aangetoond? Wat is het meest overtuigende antwoord op een onderzoeksraag?

Niet alleen begripsontwikkeling staat dus centraal maar ook de achterliggende kennis over wat natuurwetenschap is, kan en niet kan.

Bij demonstraties weet de demonstrateur wat er gaat gebeuren en hij of zij kent de bijbehorende vragen en de antwoorden. Een demonstratie is dus geen echt onderzoek, maar kan de leerlingen wel tonen wat onderzoek doen betekent. Wat het betekent om te proberen een zo overtuigend mogelijk antwoord op een natuurkundige vraag te vinden.

Dit zijn de typische vragen die we bij de leerlingen op kunnen roepen:

1. Wat gebeurt hier? Begrijp ik dit, of zit het toch anders dan ik dacht?
2. Wat betekent het wat hier gebeurt? Als we zeggen dat het fysisch echt zo zit, wat bedoelen we dan precies?
3. Klopt dit wel? Kan ik mezelf en anderen ervan overtuigen dat het écht zo zit?

In onderzoek zijn al deze vragen belangrijk. In demonstraties niet allemaal en zeker niet allemaal tegelijk. Demonstraties spelen een rol in een leerproces en daar moet je vragen dus in stappen aanbieden en de nadruk in de loop van het leerproces geleidelijk aan verplaatsen naar meer complexe vragen. Dat geeft de toeschouwer gelegenheid tot verwerking en van de ontwikkeling van vaardigheden die uiteindelijk samen een onderzoekende houding vormen.

Vragen zoals de eerste vraag stimuleren *heen-en-weer denken tussen de theorie en de praktijk*. Hierbij horen demonstraties waarin er iets gebeurt dat je niet verwacht en dat vragen oproept. Daarmee kun je illustreren hoe je in fysisch onderzoek voortdurend bezig bent theorie en praktijk aan elkaar te toetsen. Leerlingen ervaren dat met steun van de docent in de demonstraties. Zie het hoofdstuk: 'Heen-en weer-denken bij demonstraties'.

Vragen zoals vraag twee focussen op *argumentatie*. Leerlingen lijken met ieder antwoord tevreden, terwijl alleen een zo overtuigend mogelijk antwoord goed genoeg is. Maar wat vinden we dan overtuigend, en waarom? Demonstraties kunnen wetenschappelijke inzichten hierover bij leerlingen ontwikkelen. Zie het hoofdstuk 'Argumentatie en overtuigingskracht'.

Vragen zoals vraag drie gaan over de *aard van de wetenschap (Nature of Science)*. In

succesvol onderzoek zoekt de onderzoeker naar iets dat nog niet bekend was. Maar wat betekent het precies als die onderzoeker zegt: 'dit heb ik wetenschappelijk vastgesteld.' Is het dan zeker en vast waar? Komt een andere onderzoeker dan altijd en overal tot dezelfde conclusie? Demonstraties dragen bij aan inzicht in de aard en kwaliteit van het product van fysisch onderzoek: wetenschappelijke kennis. Zie het hoofdstuk '*Nature of Science (NoS)*'.

Argumentatie en overtuigingskracht zijn vanzelfsprekend een deel van de algemene vorming en burgerschapszin van alle leerlingen. Heen-en-weer-denken is van groot belang om tot theorievorming te komen. Begrip van de '*Nature of Science*' levert een bijdrage aan de wetenschappelijke geletterdheid van alle leerlingen.

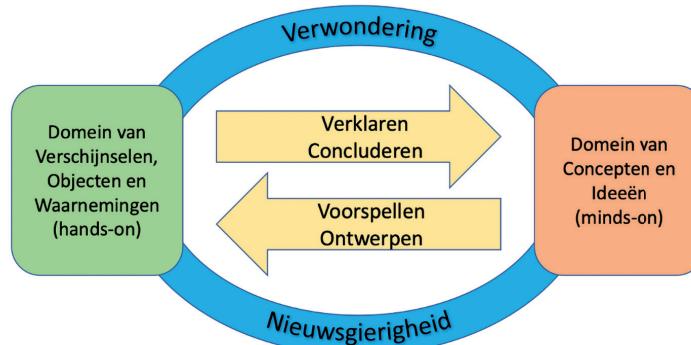
## Heen-en-weer-denken bij demonstraties

In de natuurwetenschap staat het beschrijven en verklaren van verschijnselen centraal. Beschrijven en verklaren ontwikkelt zich van dagelijkse taal naar vaktaal en uiteindelijk naar ordening van begrippen in een theorie of model. Daaruit komen hypotheses en voorspellingen die we toetsen door terug te gaan naar het verschijnsel. De zo 'verscherpte' theoretische bril maakt dat we meer zien dan de eerste keer. Nieuwe observaties roepen nieuwe vragen op en zo ontwikkelt het begrip van het verschijnsel in een proces van observeren, reflecteren/vragen, en experimenteren. Dit iteratieve en dynamische proces van heen-en-weer denken tussen empirie en theorie in elke stap van het proces is een correctere beschrijving van wetenschap dan de vaak beschreven 'lineaire wetenschappelijke methode' van onderzoeks vraag naar experiment tot conclusies.

Om heen-en-weer-denken goed te kunnen definiëren, maken we onderscheid tussen het domein van verschijnselen, objecten en waarnemingen ('hands-on') en het domein van concepten en ideeën ('minds-on'), zie figuur. Een heen-en-weer-denktiviteit is een activiteit waarbij je in één redenering een hands-on-aspect en een minds-on-aspect gebruikt en aan elkaar koppelt. Als voorbeeld bekijken we een demonstratie waarbij de docent een vloeistofkolom maakt van 'gestapelde' vloeistoffen met verschillende dichthesen (Showdefysica 1, pagina 144-145), waarin enkele voorwerpen zich op een grensvlak bevinden. In het domein van verschijnselen, objecten en waarnemingen bevinden zich waarnemingen zoals de gelaagdheid en de precieze plaats van de voorwerpen. In het domein van concepten en ideeën liggen de achterliggende concepten als volume, massa, dichtheid en opwaartse kracht. Wanneer je een redenering formuleert als "het voorwerp bevindt zich op het grensvlak van water en olie dus zal de dichtheid van het voorwerp tussen die van olie en water zitten", dan ben je aan het heen-en-weer-denken (HWD).



Vloeistof kolom van 'gestapelde' vloeistoffen



In het domein van objecten en waarnemingen observeren en meten we. In het domein van concepten en ideeën proberen we te redeneren met theorieën in hun onderlinge samenhang. Tussen die twee domeinen kunnen we heen-en-weer-denken met activiteiten in vier categorieën.

Het heen-en-weer denken is schematisch weergegeven in de figuur. Links staat de wereld van verschijnselen waarin we observeren en meten en rechts de wereld van concepten en ideeën waarin we redeneren met begrippen en modellen. De connecties zijn de ‘heen-en-weer’ activiteiten, geordend in vier categorieën *verklaren*, *concluderen*, *voorspellen* en *ontwerpen*. Bij *verklaren* en *concluderen* gaan we van verschijnselen naar theorie. Bij *voorspellen* is de richting omgekeerd en gebruiken we de theorie om uitspraken te doen over (mogelijke) verschijnselen en metingen. We *ontwerpen* experimenten om die voorspellingen te testen. Die concepten en ideeën kunnen zowel macroscopisch zijn (temperatuur, energie, massa, dichtheid, concentratie) als microscopisch (deeltjes, atomen, moleculen, elektronen). Het doen van waarnemingen en het leren van nieuwe ideeën, kan verwondering en nieuwsgierigheid opleveren, waardoor er constant nieuwe vragen ontstaan, die we moeten beantwoorden in beide domeinen. Een demonstratie met mogelijkheden in alle categorieën is bijvoorbeeld ‘Kracht en beweging met een bowlingbal’(B03).

De leerdoelen van practica en demonstraties vereisen meestal heen-en-weer-denken, terwijl er in een practicum vaak vooral aandacht is voor handelingen en verschijnselen. Het is daarom een didactische uitdaging om de wereld van verschijnselen te verbinden met de wereld van begrippen en modellen. Demonstraties zijn zeer geschikt om die verbinding te bewerkstelligen omdat de docent (veel) vaardiger is in de hands-on-aspecten en zich niet meer door het pure verschijnsel zal laten afleiden. Een goed voorbeeld hiervan is ‘Lichtsnelheid in een vloeistof’(B44).

Bij *verklaren* gaan leerlingen op zoek naar een natuurwetenschappelijke verklaring voor een waarneming of beschrijven ze die waarneming met behulp van vaktaal. In plaats van leerlingen zelf een verklaring te laten formuleren, bieden concept cartoons de mogelijkheid om leerlingen een verklaring te laten selecteren. Demonstraties waarin *verklaren* een grote rol speelt, zijn bijvoorbeeld ‘Led aansteken en uitblazen’(A14), ‘Koken door afkoelen’(B18), ‘Schaduw van een vlam’(B22) en ‘Een fontein in een kolf’(A07).

*Concluderen* gaat over het vinden van een algemene regel of het vinden van een bepaalde waarde die niet direct gemeten kan worden, zoals de zwaartekrachtsversnelling. Zo’n algemene regel kan een wiskundig verband zijn. Uitspraken over een eigenschap van een object of een stof, horen ook bij *concluderen*, zoals het wel of niet geleiden van elektrische stroom. Een conclusie is pas compleet als die ook is onderbouwd, hetgeen extra heen-en-weer-denken vraagt, zoals bijvoorbeeld duidelijk wordt in ‘Meten aan ‘sterren’’(B35). Nadenken over de nauwkeurigheid van een bepaling gebeurt in ‘Bepaling van  $g'$ (A03) aan de hand van een concept-cartoon. Andere demonstraties waarin *concluderen* centraal staat, zijn bijvoorbeeld ‘Natuurkunde van de panfluit’(B32), ‘Staande golf met een elektrische tandenborstel’(B27) en ‘Schoenendoosbeamer’(B29).

Bij *voorspellen* gaat het om voorspellingen van waarnemingen op basis van theorie, dus niet op basis van een gok, en met onderbouwing. Die onderbouwing kan komen vanuit legitieme natuurkundige voorkennis, maar ook vanuit populaire misconceptions op basis van “alternatieve theorieën”. Voorspellen combineert goed met *verklaren*. Demonstraties waarin dat gebeurt, zijn bijvoorbeeld ‘Vlammen op de draaitafel’(B01) en ‘Vreemde fietslampjes?’(B53). Andere demonstraties waarin *voorspellen* een centrale rol

speelt, zijn bijvoorbeeld 'Heuvel op, heuvel af'(B09), 'Afkoelen van metalen bollen'(B24) en 'Kirchhoff'(B54).

*Ontwerpen* betreft onder andere het ontwerpen van een experiment in het kader van onderzoek, maar ook een technisch ontwerp. Alhoewel ontwerpen bij demonstraties meestal niet centraal staat, kunnen aspecten ervan aan bod komen met een vraag als "Als ik ... wil bereiken, wat moet ik dan veranderen aan de opstelling?". Dit speelt in 'Lorentzkracht op geladen deeltjes'(B51), 'Radiometer van Crookes'(A15) en 'Goochelen met spiegels'(B56).

Zodra leerlingen theorieën en concepten koppelen aan waarneembare verschijnselen, ontstaan nieuwe vragen die een kans bieden om het heen-en-weer-denken verder te stimuleren. Soms kan dat al door de leerlingen uit te dagen de vraag te formuleren met de eerder geleerde vaktaal, hetgeen het essentiële belang van de juiste taal duidelijk maakt. Neem als voorbeeld een demonstratie waarbij een grote en een kleine steen worden losgelaten en tegelijkertijd de grond raken. Zou het verschil maken als je een heel klein steentje neemt? Krijgen we dezelfde waarneming als ze van grotere hoogte vallen? Wat gebeurt er als je een veertje aan één van de stenen vastmaakt? Als de leerlingen worden uitgedaagd om die vragen met concepten te formuleren dan moeten ze termen als luchtwrijving, zwaartekracht en eventueel traagheid, gaan gebruiken. Correcte vaktaal is essentieel omdat je zonder niet tot een beantwoordbare vraag kunt komen.

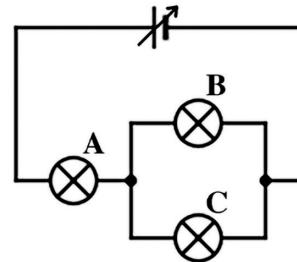
Vaak zijn verschillende didactische routes mogelijk om de leerlingen te laten heen-en-weer-denken. De docent kiest vooraf welke heen-en-weer-denken -opdrachten de leerlingen gaan uitvoeren en welke deze keer niet aan bod komen. Als voorbeeld bekijken we een PEOE demonstratie van een elektrische combi-schakeling, zie figuur. De docent kiest ervoor om te focussen op de concepten (vervangings)weerstand en stroomsterkte via

*Combi-schakeling.*

voorspellen en verklaren. De startvraag is

wat er gebeurt met de felheid van lampjes B en C als je lampje A losdraait. Je kunt leerlingen helpen door meerkeuze-opties. Na een korte uitwisseling van antwoorden en argumenten draait de docent lampje A los. Lampje B en C blijken uit te gaan. De verklaring hiervoor wordt klassikaal gezocht én gekoppeld aan de begrippen weerstand (wordt zeer groot) en stroomsterkte (wordt nul). Je draait lampje A nu weer vast en vraagt wat er gebeurt met de felheid van lampjes A en C als je lampje B losdraait. De leerlingen moeten nu zelf een antwoord met onderbouwing formuleren. Opnieuw is er een uitwisseling van ideeën voordat je lampje B losdraait. Vervolgens geef je de opdracht om in tweetallen te bedenken waardoor de eerder gegeven incorrecte verklaringen (die er ongetwijfeld waren) onjuist kunnen zijn om daarmee uiteindelijk de juiste verklaring te vinden. Deze versie van de verklaar-opdracht levert sterk heen-en-weer-denken op. Tot slot zorg je dat je de concepten (vervangings)weerstand en stroomsterkte op de juiste wijze aan de verklaring koppelt.

Met een andere insteek en via andere heen-en-weer-denken activiteiten, kunnen ook andere concepten ontwikkeld worden. Bijvoorbeeld het tekenen van het schakelschema op basis van duidelijk zichtbare draden (gebruik een camera!). Dan denken de leerlingen



heen-en-weer tussen de abstracte representatie van het schakelschema en de concreet gebouwde schakeling. Nog een andere manier is om leerlingen te vragen wat er aan de schakeling moet veranderen om alle drie de lampjes op het juiste vermogen te laten branden zonder een extra lampje toe te voegen, een ontwerp-activiteit. Mogelijkheden te over. Onze taak als docent is om daaruit een passende selectie te maken om zo goed mogelijk het conceptuele begrip te ontwikkelen!

### Hoe brengen we heen-en-weer-denken in de didactiek van demonstraties

Dat kan in een degelijke **voorbereiding** van de demonstratie:

1. Maak een lijst van verschijnselen die in de demonstratie waarneembaar zijn.
2. Maak een lijst van de begrippen bij de verschijnselen. Welke begrippen passen bij het leerdoel?  
Het werkt goed om de stappen 1 en 2 te doen terwijl je zelf bezig bent met de opstelling.
3. Welke verschijnselen leiden alleen maar af en zorgen voor ruis? Welke begrippen wil je juist vermijden om ruis te voorkomen?
4. Bedenk een stappenplan voor de demonstratie met expliciete aandacht voor de heen-en-weer-denk vragen die je gaat stellen en de opdrachten die je gaat geven.

Zie 'Kracht en beweging met een bowlingbal'(B03) en 'Lorentzkracht op geladen deeltjes'(B51) voor uitgewerkte voorbeelden van het stappenplan.

### Literatuur

- Berg, E. van den (2012). Natuurwetenschap en Techniek: heen-en-weer denken tussen begrippen en verschijnselen, redeneren met begrippen en met bewijsmateriaal. NVOX, 2012, 37(4), 176-177.
- Naylor, S., Keogh, B. (2010). Concept cartoons in Science Education (revised edition). Millgate House Publishers, United Kingdom.
- Osborne, J. (2011). Science teaching methods: a rationale for practices. *School Science Review*, December 2011, 93(343), 93-103.
- Spaan, W. Oostdam, R., Schuitema, J. & Pijls, M. (2022) Analysing teacher behaviour in synthesizing hands-on and minds-on during practical work, *Research in Science & Technological Education*, DOI: 10.1080/02635143.2022.2098265

## Argumentatie en overtuigingskracht

Bij onderzoek moet je niet alleen de vraag beantwoorden, maar ook een *zo overtuigend mogelijk* antwoord geven op die vraag. In de klas heb je dan tenminste twee verschillende uitdagingen. Ten eerste, hoe krijg je leerlingen zover dat ze het meest overtuigende antwoord geven? En ten tweede, hoe onderwijs je wat *telt* als overtuigend in de natuurwetenschappen en meer speciaal in de natuurkunde?

'Argumentatie' zien we in dit artikel als het *produceren en kritisch evalueren* van een zo overtuigend mogelijk antwoord op een natuurwetenschappelijke onderzoeksraag. Er zijn veel voorbeelden van practica die zich richten op *leren onderzoeken* en die bijdragen aan de ontwikkeling van bovenstaande inzichten.

Demonstraties richten zich vaak op het tonen van verbanden en het visualiseren van begrippen. Maar diezelfde demonstraties kun je -als je ze iets anders insteekt- ook richten op begrip van bewijs en de noodzaak jezelf en anderen te overtuigen dat je bent gekomen tot de best mogelijk verklaring voor wat je ziet.

### Voorbeeld: de meest overtuigende conclusie

Met havo-4 leerlingen heb je gezamenlijk aan één opstelling gemeten om de relatie tussen de lengte en de weerstand van een constantaan draad te bepalen. Je vraagt je leerlingen met de gevonden waarden (draadlengtes / en de bepaalde weerstand) een conclusie op te schrijven over de relatie tussen lengte / en weerstand  $R$  van de draad. Enkele typische antwoorden (afgezien van onbruikbare beweringen) staan hieronder, genummerd van 1 tot 4. In deze activiteit orden je ze van zwak naar sterker. Eerst de zwakste:

1. Als de lengte verandert, verandert de weerstand ook.

Vraag je leerlingen of ze dit een goede conclusie vinden, waarom wel of niet, en of ze een nog betere conclusie kunnen bedenken. Bij het nadenken over de kwaliteit van de conclusie helpt een context. Bijvoorbeeld: de draad is onderdeel van de schakeling in een apparaat dat kapotgaat bij een te grote stroom. De onderzoeksopdracht: bepaal de lengte van de draad nodig voor een maximale maar veilige stroom van X ampère. In deze context maak je de vraag over de kwaliteit van de conclusie tastbaar. Het antwoord helpt om een goed werkend apparaat te maken.

Presenteer één voor één de leerling-antwoorden in toenemende kwaliteit, steeds met dezelfde vragen als bij het eerste antwoord.

Typische voorbeelden:

2. Als de lengte groter wordt, wordt de weerstand ook groter.

3. Als de lengte twee keer zo groot wordt, wordt de weerstand ook twee keer zo groot.

4. De weerstand is recht evenredig met de lengte waarbij  $R = 14,5 \Omega$ .

Merk op dat je met antwoorden 1-3 niet veel kan. Het onderzoek is voor niets gedaan.

We kunnen antwoord 4 nog overtuigender maken door het bijbehorende bewijs (bijvoorbeeld een grafiek) te presenteren.

De leerlingen kunnen zonder twijfel het vierde antwoord als het beste identificeren, maar wat maakt dat nu het beste? Wat zijn de eigenschappen van het beste antwoord? Aan welk antwoord heb je wat om te bepalen hoe lang de draad precies moet zijn in het fictieve apparaat? Pas als ze antwoord hebben op die vragen is bereikt wat ze van deze activiteit zouden moeten onthouden. Met een beetje coaching kunnen deze leerlingen wel verzinnen dat een antwoord beter is als het:

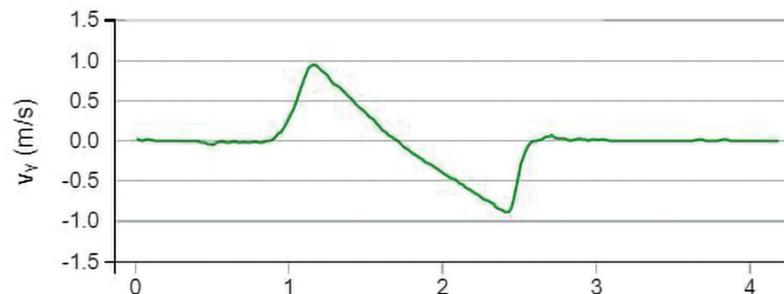
- meer informatie bevat ('toenemen' is informatiever dan 'veranderen')
- meer details geeft ('twee keer zo groot' is gedetailleerder dan 'toenemen')
- naast woorden ook getallen bevat (pas als je de verhouding weet, kun je de lengte uitrekenen).

Een mooie eindconclusie bij deze activiteit kan zijn: *het antwoord op de onderzoeks vraag moet kloppen met de metingen en zo informatief, volledig en bruikbaar mogelijk zijn.* De begrippen 'informatief, volledig en bruikbaar' zijn concreet en helder voor de H4 leerlingen. Het is een praktisch opstapje richting de overkoepelende, maar abstracte begrippen *geldigheid en betrouwbaarheid* (van meetresultaten, interpretaties en conclusies).

#### 'Ombouwen van een demonstratie'

Argumentatie speelt niet alleen bij het trekken van conclusies, het speelt in *iedere* fase van een onderzoek een centrale rol. Met enkele voorbeelden laten we zien hoe je de demonstraties in dit boek eenvoudig aanvult voor 'leren argumenteren' in andere fasen van onderzoek. We doen dit eerst op basis van de demonstratie 'Heuvel op...heuvel af' uit dit boek en vervolgens met een andere demonstratie naar Pols et al. (2022). Deze praktische voorbeelden kunnen later naar eigen inzicht gebruikt worden om andere demonstraties om te bouwen.

Wheel - Velocity (100 Hz)



*In het (v,t)-diagram is de richtingscoëfficiënt van de omhoog gaande beweging verschillend van die van de neerwaartse beweging.*

Demonstratie 'Heuvel op...heuvel af' focust op het idee dat de versnelling van een voorwerp op het hoogste punt niet 0 is. De nadruk ligt dus op ontwikkeling van begripsmatige kennis. Hoe kunnen we diezelfde demonstratie richten op argumentatie? Wie goed kijkt naar het (v,t)-diagram ziet dat de richtingscoëfficiënt van de grafiek niet constant is. Wanneer het wagentje naar boven rijdt lijkt de versnelling groter dan wanneer het naar beneden rijdt. Is dat een meetfout? Is de wrijving anders? Is er een fysisch verschijnsel dat een mogelijke verklaring geeft? De vraag is dan wat we kunnen doen om dit te onderzoeken. Bijvoorbeeld het wagentje omdraaien en kijken of de grafiek hetzelfde blijft. Moeten we misschien naar andere grootheden kijken ( $a, t$ ) om beter zicht te krijgen op wat er precies gebeurt? En als je door hebt dat de richting van de wrijvingskracht omdraait en die er dus voor zorgt dat er een knik in de (v,t)-grafiek zit, hoe overtuig je anderen hier dan van? Welke grafiek zou je bijvoorbeeld presenteren?

Belangrijk is dat je in een demonstratie de verschillende doelen onderscheidt en vervolgens toespits op één doel. Houd het behapbaar voor je leerlingen en jezelf, focus op één of twee aspecten van argumentatie, en ga een volgende keer weer op andere onderdelen in. Je hoeft niet in een keer *alles* te doen wat in een echt onderzoek speelt.

### De piratenslinger

Leerlingen zien eerst een spannende clip uit een piratenfilm waarin de held aan een lang touw van het ene naar het andere schip slingert, terwijl overal zwaarden flitsen en explosies afgaan. De opdracht: ontwerp een nieuwe stunt voor zo'n film, waarin de held precies op het juiste moment landt op het tweede schip. Doe daarvoor onderzoek aan de hand van een model: een blokje hangend aan een koord. De eerste stap in het onderzoek is een oriëntatie op de situatie en het bepalen van de onderzoeksraag.

#### *Oriëntatie: Wat moet er onderzocht worden?*

De vertaling van de beweging van de piraat naar een blokje aan een koord is niet zo moeilijk. Op basis van de context en de kennis over schommels, kunnen leerlingen eerste onderzoeksragen opstellen die betrekking hebben op een potentiële factor van invloed op de 'slingertijd' (de tijd die de piraat er over doet om de andere kant te bereiken). Met de onderzoeksragen die ze bedenken kun je het precies zo aanpakken als met de conclusies over de constantaan draad. Vul wat ze bedenken zo nodig aan met eigen ideeën, orden ze, laat ze weer één voor één zien, en stel er steeds vragen bij voor je naar de volgende gaat:

Voor een blokje dat heen en weer slingert aan een koord is de onderzoeksraag:

1. Hoe snel slingert het blokje?
2. Verandert de slingertijd als de massa van het blokje verandert?
3. Wordt de slingertijd groter als de massa van het blokje groter wordt?
4. Is de slingertijd evenredig met de massa van het blokje?
5. Met welke formule of grafiek kun je de slingertijd vinden als je de massa van het blokje weet?

Bijbehorende vragen: *Is dit nu een goede onderzoeksraag? Waarom wel of niet? Kun je een nog betere bedenken? Heeft de stuntpersoon iets aan het antwoord op de vragen 1-4?*

Spoor samen op waaraan je een goede onderzoeksraag herkent. Opnieuw kun je mikken op een mooie eindconclusie: natuurkundigen proberen in hun onderzoek veelal een *verband* vast te stellen (of het ontbreken daarvan) tussen een onafhankelijke en afhankelijke variabele. Dit is een fundamenteel inzicht. Kun je niet bedenken wat er gemeten moet worden, dan kun je meestal niet eens beginnen met je onderzoek!

#### *Variabelen controleren en eerlijk meten*

Is eenmaal een goede onderzoeksraag vorhanden dan kun je gaan bedenken hoe je de metingen gaat doen. Voor de slingerproef verzinnen leerlingen in klas 4 meestal wel dat de slingertijd naast de massa mogelijk afhangt van de beginhoek en de lengte. Voor je dan gaat meten, kun je leerlingen vragen: hoe gaan we dit doen? Maak die vraag concreet, bijvoorbeeld als volgt: *Ik heb tabellen voorbereid om de meetwaarden in te vullen. Welke vind je het best, welke het slechtst, en waarom?*

1.1	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)	1.2	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)
	100	1,50			200	0,25	
	101	1,50			200	0,50	
	102	1,50			200	1,00	
	103	1,50			200	1,25	
	104	1,50			200	1,50	
1.3	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)	1.4	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)
	100	0,25			100	0,75	
	200	0,50			200	0,76	
	300	0,75			300	0,77	
	400	1,00			400	1,49	
	500	1,00			500	1,50	

*Tabellen bij ‘variabelen controleren’.*

Met de getoonde tabellen kun je de leerlingen na laten denken over het interval tussen de metingen, het bereik in de onafhankelijke variabele(n), en het begrip ‘eerlijke meting’. Zo laat je ze vooraf nadenken over de consequenties van hun keuzes, en de invloed daarvan op de kwaliteit van het nog te vinden antwoord. Je helpt ze een stap te zetten die ze bij zelfstandig werk heel gemakkelijk overslaan. Na de discussie kan de klas zelf de tabellen voorbereiden die in de demonstratie gebruikt gaan worden, en samen bedenken waarom die voldoen.

Een andere optie is een onhandige keuze (bijvoorbeeld tabel 1.4) in je demonstratie te gebruiken en de discussie pas na het meten te houden. Focus in dit specifieke voorbeeld dan liever op de relatie van de lengte met de slingertijd, de massa heeft immers geen systematische invloed en dat compliceert de discussie onnodig.

Vraag de klas dan om een conclusie te trekken, en goed na te gaan of die conclusie verdedigd kan worden. Maak dat ‘goed nagaan’ concreet, met vragen als:

*Zou de verandering ook door iets anders veroorzaakt kunnen zijn?*

*Weet je nu ook wat er gebeurt als je de lengte nog twee keer zo groot maakt?*

*Hoe zeker ben je van de vorm van de grafiek tussen de metingen?*

De meeste leerlingen zullen pas tijd en energie stoppen in het bedenken van correcte methoden wanneer ze inzien waar al die moeite goed voor is. Je kunt ze dat vertellen, maar we denken dat het leerzamer is als leerlingen er zelf over nadenken en hun eigen redenen proberen te geven in een activerende aanpak. In practica leidt dat al gauw tot omslachtigheid, maar in demonstraties kun je dat best vlot en gezamenlijk doen. Die correcte methoden zijn natuurlijk niet meteen paraat en toepasbaar, maar passen in een leerlijn voor ‘leren onderzoeken’.

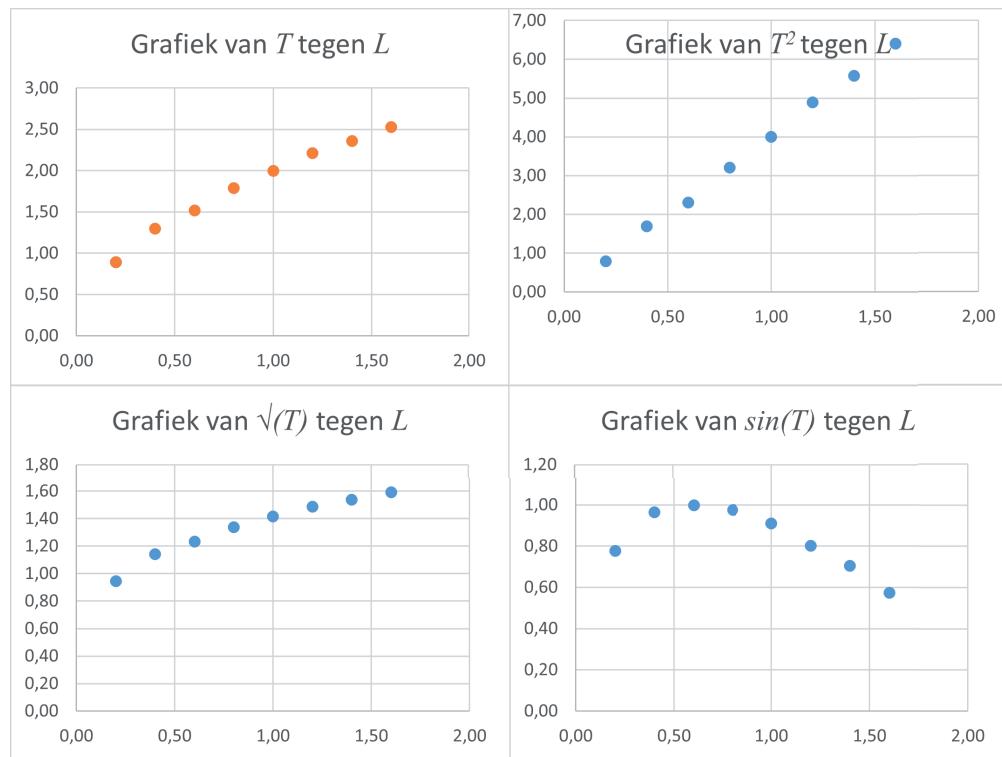
#### *Metingen interpreteren*

De invloed van de massa en (kleine) beginhoek op de periode wordt in slingerproefkookboekpractica en -demonstraties vaak niet onderzocht. Een gemiste kans! Juist als leerlingen een verband verwachten dat er niet is (volgens de theorie) wordt het interpreteren van de data een echt probleem dat om een oplossing vraagt. Er zal immers ten gevolge van meetfouten wel een fluctuatie in de metingen zijn, maar betekent die nu iets, ja of nee? Wat veroorzaakt de fluctuaties: de meetmethode, invloeden van buitenaf, of een mogelijk verband tussen de grootheden? Omdat leerlingen vaak geneigd zijn hun data zo te analyseren en te presenteren dat ze het verband dat ze

verwachten bevestigen, kun je hier werk van maken. Laat ze gerust helpen bij de uitvoering en een paar keer opnieuw meten: *Er komt iedere keer iets anders uit jullie meting, kan dat niet beter? Of: als we nou de meting een paar keer herhalen en het gemiddelde nemen, helpt dat?* En: *je hebt echt goed gemeten, en je ziet iets anders dan wat je had verwacht. Wat is nu overtuigender, wat je ziet of wat je had verwacht?* Zo werk je aan argumentatie door te focussen op redenen voor het herhalen van metingen, minimaliseren van meetfouten en rapporteren van spreiding.

Moet er een definitief antwoord komen op de vraag of de factor van invloed is, stel dan twee even lange slingers op, geef ze een verschillende massa (of kleine beginhoek) en laat ze gelijktijdig los; bij een zorgvuldige voorbereiding blijven ze mooi naast elkaar slingeren. Maar doe dat vooral *niet* aan het begin als je wilt dat je leerlingen leren onderzoeken. Benut ook de kracht van demonstraties waarin eigenlijk niets gebeurt!

### Metingen representeren



*Metingen representeren.*

Tabel 2 presenteert geïdealiseerde, gefingeerde metingen waarbij we een grafiek maken om het verband tussen de grootheden te onderzoeken.

*Tabel 2. Metingen aan een slinger van lengte L en periode T, met berekende ,  $T^2$ en  $\sin(T)$ .*

L (m)	T	$\sqrt{T}$	$T^2$	$\sin(T)$
0,20	0,89	0,94	0,79	0,78
0,40	1,30	1,14	1,69	0,96
0,60	1,52	1,23	2,31	1,00
0,80	1,79	1,34	3,20	0,98
1,00	2,00	1,41	4,00	0,91
1,20	2,21	1,49	4,88	0,80
1,40	2,36	1,54	5,57	0,70
1,60	2,53	1,59	6,40	0,57

Op basis van de bekende formule is het gebruikelijk om de periode uit te zetten tegen de wortel uit de lengte. Maar voor leerlingen is dat niet evident, we kunnen dan ook beter starten met de onafhankelijke variabele op de horizontale as te zetten. We weten ook de formule nog niet precies, die willen we juist onderzoeken...

Maar stel nu dat ze een verband vermoeden, welke activerende instructie zorgt ervoor dat leerlingen nadenken over wat er op de assen gezet wordt?

Een optie is grafieken 1-4 te laten zien, en de volgende vragen aan de klas voor te leggen:

1. *Ga na welke van de grafieken 1-4 fout is, en niet past bij de metingen in Tabel 2.*
2. *Kies zelf een grafiek en bepaal daaruit het verband tussen periode T en lengte L.*
3. *Als het goed is heb je je grafiek in vraag 2 slim gekozen. Hoe heb je je keuze gemaakt?*

De kans dat leerlingen nu snappen waarom je niet  $T$  maar  $T^2$  uitzet tegen / lijkt ons groter in deze situatie dan wanneer je voorschrijft hoe de grafiek eruit moet zien. Ze beseffen dat ze altijd de meest toepasselijke representatie moeten kiezen. In al deze activiteiten komt steeds weer terug dat je een zo volledig mogelijk, helder, onderbouwd en bruikbaar antwoord op de onderzoeksraag moet formuleren.

De beschreven voorbeelden gaan over de oriëntatie op het probleem en vaststellen van te meten grootheden, keuze van bereik van en interval tussen meetwaarden, representatie en interpretatie van metingen en trekken van conclusies. Argumentatie is echter van even groot belang bij het formuleren van verwachtingen, kiezen van meetinstrumenten en -procedures, verbinden van de praktijk met de theorie, en formuleren van vragen voor verder onderzoek, om maar wat te noemen. De uitdaging aan de lezer is om die generalisaties zelf te verzinnen en uit te proberen, bijvoorbeeld in de demonstraties die in dit boek beschreven worden, maar liefst ook in andere onderwijsactiviteiten.

## Bronnen

Pols, C.F.J., Dekkers, P.J.J.M., de Vries, M.J. (2019). Introducing argumentation in inquiry - a combination of five exemplary activities. *Physics Education* 54 (5), 055014.

Pols, C.F.J., Dekkers, P.J.J.M., de Vries, M.J. (2021). Defining and Assessing Understandings of Evidence with the Assessment Rubric for Physics Inquiry - Towards Integration of Argumentation and Inquiry. *Physical Review Physics Education Research*.

## Nature of Science (NoS) of de aard van wetenschappen

Als natuurkundeleraar ben je niet alleen verantwoordelijk voor het bijbrengen van kennis aan je leerlingen, maar ook voor het overbrengen van een beeld van wat natuurwetenschappen zijn en wat wetenschappers proberen te bereiken. In een tijd waarin de (sociale) media soms onzin verspreiden over wetenschap, is het van belang dat je als leraar tegenwicht biedt. Verkeerde ideeën over wetenschap brengen namelijk risico's met zich mee, zoals we hebben gezien tijdens de recente coronacrisis waarin wetenschap soms werd afgedaan als 'ook maar een mening' en wetenschappers zelfs bedreigd werden. Een goed begrip van de wet van Ohm is belangrijk voor een voldoende op een proefwerk, maar een juist begrip van wat wetenschap inhoudt en wat het doel ervan is, is minstens zo belangrijk.

Maar welk beeld van de natuurwetenschappen zou je dan als natuurkunde leraar moeten over brengen? Wat kenmerkt wetenschap? Hoe onderscheidt wetenschap zich bijvoorbeeld van kunst of religie? En wat doe je ermee in je natuurkundeles? Dergelijke vragen worden in de vakliteratuur besproken onder het label 'Nature of Science' (NoS), (of in het Nederlands 'aard van de natuurwetenschappen').

### Waarom aandacht voor NoS in de natuurkunde les?

De vraag wat natuurwetenschap -filosofisch gezien- is kun je misschien nooit voor iedereen bevredigend beantwoorden. Maar voor school-doeleinden hoeft dat ook helemaal niet. Het is voldoende als we leerlingen belangrijke kenmerken van de natuurwetenschappen kunnen bijbrengen waarover overeenstemming is. Als dat succesvol gebeurt begrijpen je leerlingen wat natuurwetenschap is, wat je ervan kunt verwachten en wat niet. Dit stelt leerlingen in staat om als mondige burgers deel te nemen aan maatschappelijke discussies over vraagstukken met een wetenschappelijke achtergrond en om beslissingen te nemen in hun persoonlijke leven, zoals over vaccinaties of milieuvraagstukken.

Voor de overgrote meerderheid van de leerlingen is deze 'wetenschappelijke geletterdheid' ('scientific literacy') belangrijker voor hun toekomstige leven dan inhoudelijke natuurkundige kennis. Daarnaast kan aandacht voor NoS het onderwijs voor veel leerlingen interessanter, boeiender en motiverender maken. Het is alleen daarom al de moeite waard.

Lesgeven met aandacht voor NoS is misschien makkelijker dan je denkt. Vaak hoef je daarvoor vooral dingen *niet* te doen, die je normaal gewend bent juist wel te doen. Eén van de dingen die je bijvoorbeeld zo lang mogelijk uit zou moeten stellen, is het geven van het 'juiste antwoord'. Op school lijkt het er vaak om te gaan het juiste antwoord te weten, en 'foute antwoorden' worden afgewezen. Wetenschappers zijn immers voortdurend bezig met het zoeken naar mogelijke verklaringen en het overtuigen van anderen van hun methoden en antwoorden. Om dit aan leerlingen duidelijk te maken, is het soms beter om het geven van het 'juiste antwoord' zo lang mogelijk uit te stellen en te focussen op het proces van het zoeken naar het meest acceptabele antwoord. Op deze manier kunnen leerlingen de essentie van wetenschap beleven en ontwikkelen ze een kritische blik op wetenschappelijke vraagstukken, wat hen later in staat stelt om als mondige burgers deel te nemen aan maatschappelijke discussies.

## Denkbeelden en inzichten

De belangstelling voor NoS-onderwijs komt voort uit de constatering dat gebruikelijk onderwijs vaak denkbeelden oplevert over wetenschap die niet stroken met de realiteit en die zelfs desastreuze gevolgen kunnen hebben voor de manier waarop leerlingen wetenschap zien en waarderen (McComas, 2020). Tabel 1 geeft enkele voorbeelden van boodschappen die door het gebruikelijke onderwijs opgeroepen kunnen worden en de opvattingen over natuurwetenschappen die dat op kan leveren.

Tabel 1. Veel voorkomende ongewenste conclusies en opvattingen over natuurwetenschappen.

Boodschappen die natuurkundelessen onbedoeld kunnen overbrengen	Ongewenste conclusies die leerlingen daaruit kunnen trekken
Wetenschappers zijn niet creatief: zij volgen alleen maar vaste regels en methoden.	Natuurkunde en andere natuurwetenschappen zijn saai.
Zorgvuldig verzameld bewijs leidt tot eenduidige en zekere kennis.	Wetenschappers kunnen gegevens niet verschillend interpreteren. Wetenschappelijke kennis is vast en onveranderlijk.
Wetenschappelijke modellen geven de werkelijkheid op de best mogelijke manier weer.	Als er verschillende modellen bestaan, kan er maar één de juiste zijn.
Wetenschap is universeel en wetenschappers zijn absoluut objectief. Daarom zijn goede wetenschappers het altijd eens.	Als wetenschappers het oneens zijn, kunnen we hen niet vertrouwen.

Hoewel duidelijk mag zijn, dat bovenstaande opvattingen over wetenschap niet wenselijk zijn, is het niet eenvoudig de juiste balans te vinden in je les. Je mag uiteraard laten zien dat wetenschappers systematisch en gestructureerd werken en dat dat enorme voordelen heeft. Leerlingen moeten ook weten dat er betrouwbare modellen zijn om processen en gebeurtenissen zorgvuldig te beschrijven, te verklaren en voorspellingen te doen. Het streven van wetenschappers naar consensus en objectiviteit hoeft je niet onder stoelen of banken te steken. Maar het is letterlijk en figuurlijk zonde als we niet ook laten zien aan leerlingen dat wetenschap in principe altijd open staat voor kritiek en verbetering. Dit is geen zwakte, maar een kracht! *Juist* dat maakt de groei en ontwikkeling van wetenschappelijke kennis mogelijk, en onderscheidt de natuurwetenschappen van dogmatische en starre verklaringsmodellen.

In tabel 2 staan voorbeelden van enkele kenmerken van NoS waarover in de vakdidactische literatuur veel geschreven is. Er staan voorbeelden in van gewenste en niet-gewenste opvattingen bij elk kenmerk. De gewenste opvattingen geven de actuele stand van de wetenschappelijke literatuur over NoS weer. De tabel is niet volledig, hij is ook zeker niet bedoeld om aan leerlingen te geven, maar hij is zeer geschikt om over je eigen beeld van NoS te reflecteren.

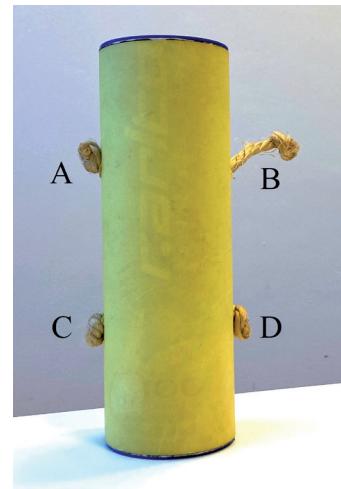
Tabel 2. Kenmerken van Nos en ongewenste en gewenste opvattingen

Nature of Science aspect	Voorbeeld van vaak voorkomende opvatting	Voorbeeld van de gewenste opvatting
De rol van waarnemingen, experimenten en de samenhang met wetenschappelijke theorieën.	De enige manier om kennis te verwerven is experimenten doen. Waarnemingen en experimenten kunnen wetenschappelijke theorieën bewijzen.	Wetenschappers gebruiken diverse methoden (o.a. experimenten) en onderlinge uitwisseling om wetenschappelijke kennis te ontwikkelen. Waarnemingen kunnen wetenschappelijke theorieën ondersteunen of juist weerleggen, maar niet bewijzen.
Wetenschappelijke theorie	Theorieën zijn vage vermoedens. (In de omgangstaal gebruik je het woord theorie vaak zo.)	Een wetenschappelijke theorie -bijvoorbeeld de relativiteitstheorie- is een samenhangende structuur van gevalideerde en algemeen geaccepteerde verklaringen van verschijnselen. (Maak leerlingen attent op het verschil tussen omgangstaal en vaktaal.)
De rol van wetenschappelijke modellen	Wetenschappelijke modellen zijn een waarheidsgetroouwe weergave van de werkelijkheid.	Modellen zijn bedoeld om bepaalde aspecten van verschijnselen te verklaren of te voorstellen. Daarom kunnen er verschillende wetenschappelijke modellen die op hetzelfde verschijnsel betrekking hebben bestaan.
Voorlopigheid van wetenschappelijke kennis	Wetenschappelijke kennis is zeker en onveranderlijk.	Wetenschappelijke kennis is duurzaam en betrouwbaar maar staat principieel altijd open voor ontwikkeling, verandering en verbetering.
Creativiteit in de wetenschap	Er bestaat maar één stap-voor-stap manier voor wetenschappelijk onderzoek (dé natuurwetenschappelijke methode).	Er bestaat niet zoets als 'dé wetenschappelijke methode'. Wetenschappers proberen juist op verschillende manieren wetenschappelijke kennis te vergroten. Daarvoor is vaak creativiteit nodig
Subjectiviteit in de wetenschap	Wetenschappers zijn objectief en daarom is er maar één juiste interpretatie van waarnemingen mogelijk.	Hoewel wetenschappelijk onderzoek streeft naar onafhankelijke kennis, blijft het mensenwerk. Dit houdt in dat wetenschap wordt beïnvloed door historische, culturele, sociale en economische omstandigheden en door persoonlijke voorkeuren van onderzoekers. Er is een verschil tussen waarneming en interpretatie.
Controversies in de wetenschap	Medeonderzoekers herkennen en aanvaarden nieuwe wetenschappelijke kennis direct.	Discussies en meningsverschillen over wetenschappelijke ideeën zijn essentieel voor de wetenschappelijke ontwikkeling. Er kunnen verschillende interpretaties naast elkaar bestaan.
Wetenschappers	Alleen in de westerse cultuur bedrijft men natuurkunde. Het is alleen voor jongens.	Mensen (vrouwen en mannen) uit alle culturen dragen bij aan de wetenschap.
		(Twee redenen waarom we vooral blanke mannen als wetenschappers kennen: Andere groepen mensen werd de toegang tot educatie geweerd en in schoolboeken staat meestal weinig over de invloed van wetenschappers uit andere culturen.)

## Hoe kun je aandacht voor NoS in je les brengen?

Een uitstekend begin zijn *Black-Box*-activiteiten, vooral als ze onmiddellijk verbazing en verwarring oproepen. Je voert met een voorwerp (de *Black Box*) kleine experimenten uit. Het resultaat is de *output* van de *Black Box*. Maar het mechanisme waardoor het tot die *output* komt blijft verborgen. Leerlingen hebben vaak het gevoel hebben dat ze kunnen begrijpen ‘hoe het zit’ en ze gaan onmiddellijk op onderzoek uit. In een demonstratie heb je prima mogelijkheden om dat dan te sturen en met zijn allen samen op onderzoek uit te gaan. Zie bijvoorbeeld de NoS-activiteiten ‘Cilinderpuzzel’(A06) en ‘Magie of nie?’(A05) in dit boek of kijk op deze Engelstalige website van de Royal Society of Chemistry: [edu.rsc.org/resources/black-box/1275.article](http://edu.rsc.org/resources/black-box/1275.article)

Leerlingen voelen zich bij een eigen onderzoek wel ‘wetenschapper’, maar ze leren daarvan niet direct wat wetenschap is; en ze krijgen niet vanzelf inzicht in NoS. Dat geldt evenmin voor leerlingpractica, en zelfs als leerlingen aan echte onderzoeksprojecten deelnemen - bijvoorbeeld tijdens stages – begrijpen ze niet vanzelf en spontaan de aard van de natuurwetenschappen. Om inzicht in NoS te ontwikkelen is het nodig dat je samen met de leerlingen terugkijkt op wat ze waarom hebben gedacht en gedaan, en dat vergelijkt met hoe wetenschappers denken en werken. Ga met de leerlingen bijvoorbeeld na waarom de ene verklaring minder goed gevonden wordt dan een andere. Bespreek achteraf hoe zij tijdens hun onderzoek beslissingen namen. Reflecteer dus met de leerlingen op wat zij zelf ervaren hebben en trek daaruit expliciet conclusies over wat wetenschap is en hoe wetenschappers te werk gaan. De eigen ervaringen uit het onderzoek helpen leerlingen dan om inhoud en betekenis te geven aan NoS. Onderwijs je NoS ‘droog’ dan is dat zo weer vergeten.



Cilinderpuzzel als voorbeeld van het model van het heelal.

## Demonstraties als NoS-activiteit

Ook alle andere demonstraties en experimenten kun je tot NoS-activiteiten maken. Er zijn vaste elementen die in vrijwel alle demonstraties passen. Je kunt bijvoorbeeld de volgende vragen stellen.

1. *Heb je het zelf gezien en echt waargenomen, of heb je het erbij bedacht?*  
Vooral jonge leerlingen zijn geneigd geen onderscheid te maken tussen observatie en interpretatie: wat je ziet, wat je denkt dat het is en wat het is. In de demonstratie ‘Magie’ giet je een doorzichtige vloeistof in een trechter en vang je vervolgens ongeveer evenveel doorzichtige vloeistof in een bekerglas op. Is dat dezelfde vloeistof? Is het water? De demonstratie laat zien dat je dat niet zomaar mag aannemen. Het onderscheid kan van belang zijn.
2. *Wat heb je waargenomen? Hebben anderen dat ook opgemerkt? Was er verder nog iets dat je opviel?*  
Waarnemen gaat niet vanzelf. Het wordt beïnvloed door je kennis en verwachtingen. Als je weet waar je op moet letten zie je meer, en dat geldt ook voor

de wetenschap. Fleming's ontdekking van het effect van penicilline op basis van wat vergeten bacteriecultuurtjes is beslist geen uitzondering. Als je leerlingen niet vertelt wat je wilt dat ze zien maar dat aan hen zelf overlaat blijkt de variatie aan waarnemingen enorm groot. Dat is niet altijd de bedoeling, maar kan helpen als je wilt laten zien wat het belang van gericht waarnemen is in onderzoek.

3. *Hoe kwam dat? Kun je uitleggen hoe dat in zijn werk ging? Zijn er nog andere mogelijke verklaringen?*

In de 'Cilinderpuzzel' gebruik je de eigen verklaringen van leerlingen om NoS te bespreken. Belangrijk is wel dat de demonstratie eenvoudig genoeg blijft om de kwaliteit van de verklaringen enigszins te kunnen vergelijken.

4. *Wat kunnen we doen om te kijken of je uitleg zou kunnen kloppen? Hoe kunnen we je hypothese testen?*

Een verklaring krijgt pas waarde als die past bij de waarnemingen, en hij is sterker naarmate hij beter past en meer alternatieven uitsluit. Het zelf bedenken van tests voor verklaringen is belangrijk en leerzaam. Opnieuw een reden om niet te snel het 'juiste antwoord' in te brengen.

5. *Hebben we nu met dit onderzoek bewezen dat onze conclusie waar is?*

*(Bijvoorbeeld, hebben we de wet van Hooke bewezen?)*

Het begrip 'wetenschappelijk bewijs' is lastig. De wet van Hooke kun je niet bewijzen op dezelfde manier als de stelling van Pythagoras: bij de laatste heb je geen waarnemingen nodig. Uit een eindig aantal waarnemingen kun je bovendien logisch gezien nooit een conclusie trekken over alle nog komende waarnemingen: dat heet het 'inductieprobleem'. Toch draagt de geldigheid en betrouwbaarheid van de waarnemingen in een onderzoek bij aan de kwaliteit van de conclusie.

Het is als docent de kunst om goed in te schatten wanneer en met welke leerlingen je dieper op een bepaald kenmerk van NoS ingaat. Als je er open voor staat, kunnen er heel nuttige gesprekken uit ontstaan. Bespreek bijvoorbeeld dat een 'experiment' per definitie een onderzoek is waarin variabelen worden gecontroleerd (dat wil zeggen: constant gehouden). Ter sprake komt dan vast ook onderzoek in de astronomie of paleontologie. Sommigen denken dat alleen uit experimenteel onderzoek wetenschappelijke kennis kan worden gehaald, maar er zijn allerlei vormen van acceptabel wetenschappelijk onderzoek, experimenten zijn maar een enkele vorm. Voor meer boeiende en vaak filosofische vragen over NoS die je direct in de klas kunt gebruiken, kijk op de Vlaamse website [www.wetenschapsreflex.be](http://www.wetenschapsreflex.be).

En als je met je leerlingen over stereotypen wilt praten (Waarom denken zo veel mensen dat wetenschap vooral voor witte mannen is?), geeft het boek 'Ongekend' van Margriet van der Heijden boeiende inkijken in hoe vrouwen vaak stelselmatig tegengewerkt werden en hoe hun belangrijke bijdragen tot de wetenschap 'vergeten' werden.

## Bronnen

Van der Heijden, M. (2022) Ongekend, Over vrouwen in de natuurwetenschap die over het hoofd werden gezien, Uitgeverij Nieuwezijds.

McComas, W. F. (2020). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. In W. McComas (Ed.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (pp. 36-65). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_3)

## GELUIDSSNELHEID



$v_{geluid} = f \lambda$  maar snelheid is onafhankelijk van frequentie en golflengte! Zoek voorwerpen in het lokaal waarmee je tegelijkertijd een hoge en lage toon kunt maken. Laat leerlingen beoordelen of het geluid wel/niet gelijk aankomt. Niet zo overtuigend? Dan maar redeneren, hoe komt het dat we kunnen genieten van een koor of orkest of band waarin tegelijkertijd hoge en lage tonen geproduceerd worden? Komen die hoge en lage tonen tegelijk aan bij onze oren, of niet? Als we verder van het podium zitten, is er dan verschil?

# A

## Natuurwetenschappelijke vaardigheden



## A01 RESONANTIE



20 minuten

vanaf klas 4 havo/vwo

Toon een demonstratieopstelling met een veer en een slinger. Hoe kun je er dan voor zorgen dat veer en slinger een gelijke trillingstijd hebben en precies gelijk op trillen voor minstens 20 volledige trillingen? Laat de leerlingen overleggen, desnoods erbij zeggen dat er gerekend moet worden. Vervolgens kan de docent met een leerling de gesuggereerde opstelling klassikaal testen.

### Nodig

Twee statieven; statiefstaaf; vier statiefklemmen; dun touwtje om te spannen tussen de twee statieven; veer; diverse gewichtjes; touwtje voor slinger.

### Voorbereiding

Maak de opstelling met twee statieven, de veer, en de slinger (zie afbeelding). Probeer zelf eerst een opzet te maken waarin de veer en de slinger resoneren, maar begin in de klas met een opstelling waarin dat niet zo is.



Opstelling

### Uitvoering

Laat de opstelling zien. Laat de veer afzonderlijk trillen (even van het touw afhalen) en laat de slinger afzonderlijk slingeren. Ze hebben elk een eigen periode  $T$ . *Hoe zou je ze gelijk kunnen laten trillen?*

Laat leerlingen overleggen. *Wat is daarvoor nodig?* Dan moeten ze bedenken dat je dan toch eerst moet gaan rekenen in plaats van maar wat proberen. Daarvoor zul je de veerconstante of periode moeten bepalen. En dan bedenken hoe je de trillingstijd van veer of beter die van de slinger kunt aanpassen.

De docent kan even 'meebewegen' met de ideeën van de leerlingen, ook als ze nog niet aan de formules gedacht hebben. Uiteindelijk komen de formules op en wordt de voorwaarde  $m/C = l/g$  wel genoemd. Dan is het nog even priegelen met die lengte, of beter: de docent heeft al een werkende opstelling achter de hand.

Maar als de trillingstijden gelijk zijn, dan zal de fase toch nog verschillen? .... Resonantie. Breng de trillingen op gang door de slinger parallel met het ophangtouw in beweging te brengen.

Controlevraag: *We hebben nu een opstelling met een slappere veer die gemakkelijker is uit te rekken. Hoe moeten we de slinger aanpassen om toch resonantie te krijgen?*

### Natuurkundige achtergrond

$$T_{\text{veer}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$$
 is gelijk aan  $T_{\text{slinger}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

en de twee trillingen resoneren waardoor het faseverschil 0 wordt.

### Tips

- Deze demonstratie kun je ook als practicum uitvoeren. De opdracht is dan om een opstelling te maken waarin een veer en een slinger dezelfde trillingstijd hebben en beide trillingen zo lang mogelijk (20x of meer) gelijk op gaan. Laat de leerlingen eerst wat aanrommelen, maar suggerer dan eens naar de formules te kijken. In klassen van Paul Logman is het gelukt om opstellingen te maken waarin slinger en veer meer dan 40 trillingen gelijk op trillen.
- Er zijn nog mogelijkheden voor optimalisatie. Bijvoorbeeld, welke dikte van het koord en manier van ophangen van veer en slinger zorgen voor optimale koppeling?
- Natuurlijk kun je ook gekoppelde slingers doen waarin eerst slinger en veer afwisselend trillen. Zie ook 'Toveren met slingers' in Showdefysica 1, pagina 158-159.

## A02 TOT OP DE BODEM



NoS met YouTube



5-20 minuten



alle niveaus voor het NoS deel, 3 of 4 H/V voor het wetenschappelijke deel

Een echte demonstratie is (bijna) altijd beter dan een filmpje. Filmpjes zijn wel een prachtige inspiratiebron. De uitleg bij filmpjes rammelt vaak. Kun je een correcte uitleg vinden bij deze demonstratie? Die vraag leidt tot een NoS-activiteit.

### Nodig

Leeg (bier)flesje; water; rubberhamer  
(veiligheidsbril, werkhandschoenen, dweil, emmer).  
Verder onderzoek: hoge-snelheidscamera, veel flessen, flessendoppen, koolzuurhoudend water, bakje zand, elektrische ketel.



### Voorbereiding

Test vooraf, sla niet hard maar wel recht op de flessenopening. Vang scherven veilig op in de emmer.

### Uitvoering

Houd een half met water gevulde fles met één hand boven de emmer, tik met de hamer in de andere hand recht op de flessenopening. De bodem valt uit de fles (in de emmer).

*Welk mechanisme verklaart dat de bodem uit de fles valt?*

*Vul een glazen fles gedeeltelijk met water. Houd die in je ene hand en geef met een rubberen hamer een flinke mep op de bovenkant van de fles. De bodem valt eruit.*

Verklaringen bij de YouTube filmpjes:

1. Door de klap schieten luchtmoleculen de fles in, botsen op het water, het water botst op de bodem, die breekt.
2. De klap vergroot de druk in de fles, water kun je niet samendrukken, dus die druk komt op de bodem van de fles en die breekt daardoor.
3. Sla je op de fles dan schiet die een stukje naar beneden. Het water blijft achter door traagheid, onder in de fles wordt de druk klein, de omringende lucht(druk) breekt de fles.
4. Je slaat de fles een stukje naar beneden, het water blijft door traagheid achter. Onder in de fles ontstaat even een vacuüm, dat klapt in elkaar en daardoor breekt de bodem van de fles.
5. Verandert de snelheid van een kolom water plotseling (bijvoorbeeld in de waterleiding als die ineens open of dicht gaat) dan kan een drukgolf ontstaan, 'waterslag'. In de waterleiding zit daarvoor een drukventiel, in de fles breekt de bodem.

De optimale verklaring staat hier vermoedelijk niet bij. *Welke verklaring vinden jullie het best? Hoe kun je beslissen wat de beste verklaring is?*

Enkele mogelijkheden:

1. Klopt de eerste verklaring dan lukt het ook met een leeg flesje. Dat is niet zo.
2. Doe de dop terug op de fles, dan verandert de druk in de fles niet. Maar de bodem valt ook nu uit de fles. Zet je de fles stevig in zand dan lukt het niet meer – speelt de beweging van het water ten opzichte van de fles een rol?
3. Breekt de omringende lucht de fles dan zou een implosie optreden, maar de foto laat een explosie zien.
4. Slow motion filmpjes op YouTube suggereren dat onderin de fles belletjes ontstaan door onderdruk, die weer inkappen waarbij het glas breekt. Van (benadering van een) vacuüm is echter zeker geen sprake, de bellen zullen gevuld zijn met vooral waterdamp.
5. Waterslag hoor je bij het opstarten van de wasmachine. Maar de massa water in de fles lijkt te klein om hier van waterslag te spreken.

Controlevragen. *Noem vier of meer eigenschappen van een goede wetenschappelijke verklaring.*

*Beschrijf hoe je van traagheid gebruik maakt als je een spijker in een blok hout timmert.*

#### Natuurkundige achtergrond

Uitleg 4 is plausibel: onderdruk ontstaat vooral onderin de fles als die beweegt terwijl het (onsamendrukbaar) water nog stilstaat, waterdampbellen ontstaan en imploderen bij drukherstel, daarbij optredende krachten werken naar buiten op de flesbodem. Maar ‘de juiste verklaring’ is in een op NoS gerichte activiteit minder belangrijk dan de ervaring dat een wetenschapper eigen keuzes maakt op basis van het verzamelde bewijs.

#### Tips

Zoek de YouTube filmpjes op en laat zien dat de uitleg varieert.

Zou je een koolzuurhoudende vloeistof (frisdrank of bier) gebruiken, dan komt het opgeloste gas zeer snel vrij ten gevolge van de tik. De vloeistof schuimt hevig in de hele fles, de drukverandering wordt uitgesmeerd in de tijd en de bodem blijft heel.

## A03 BEPALING VAN $g$

*Maar nauwkeurig!*



20 minuten



bovenbouw



In de natuurkunde les kun je experimenteel de valversnelling bepalen. Maar hoe nauwkeurig is het resultaat? Waar moet je op letten als je een zeer nauwkeurige bepaling wilt doen? Hoe kwantificeer je dan de nauwkeurigheid waarmee je de zwaartekrachtsversnelling hebt bepaald?

Nog niet toe aan de wiskundige kant? Dan kun je deze demonstratie ook prima doen op de open avond door gebruik te maken van de phyphox app en zonder nadruk op de bijbehorende onzekerheid.

### Nodig

Hard opgeblazen ballon; hamer; telefoon met phyphox; touwtje; houten plank; stellage voor de opstelling; naald; meetlint.

### Voorbereiding

Blaas de ballon op en hang de hamer met een touwtje aan de ballon. Hang het geheel aan de stellage en zorg dat de houten plank direct onder hamer ligt. Gebruik de akoestische chronometer met een drempelwaarde van 0,35 en een vertraging van 0,3 s.

### Uitvoering

De demonstratie begin je met de vraag wat een nauwkeurige meting inhoudt en waarom een nauwkeurige waarde van  $g$  van belang kan zijn. Het is interessant om te weten dat er naar olie gezocht wordt door de versnelling van de zwaartekracht heel nauwkeurig te bepalen.

Je kunt vervolgens het experiment uitleggen: Met één enkele meting en met behulp van de vergelijking  $s = 1/2gt^2$  gaan we  $g$  zo goed mogelijk bepalen. Het doorprikkken van de ballon start de akoestische chronometer en de klap van de hamer op de grond stopt de timer.

- *Is het voor een goede meting noodzakelijk om een zo groot mogelijke of zo klein mogelijke valhoogte te hebben? Zijn er nog voorwaarden aan de uiterste waarden die je kiest?*



*De hamer hangt op grote hoogte met een touwtje aan een ballon.*

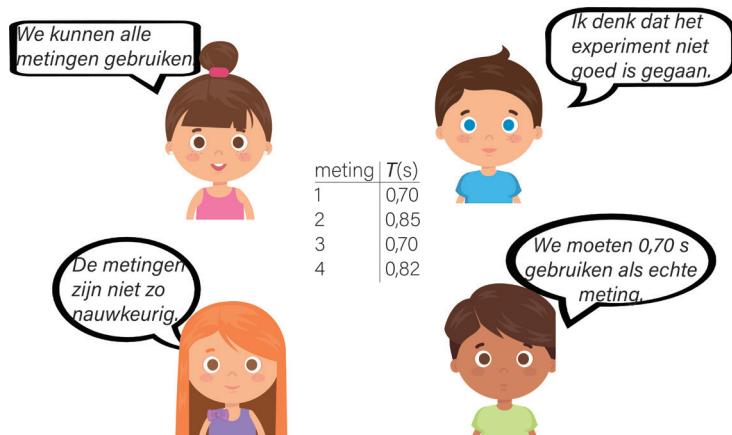
- Waar moet je de telefoon houden? Bovenaan, onderaan, in het midden of maakt het niet uit? Waarom?
- Hoe nauwkeurig meten we de tijd en de hoogte?

Laat leerlingen in tweetallen nadenken over de antwoorden op de vragen, de antwoorden opschrijven en nodig daarna leerlingen uit om hun antwoord te geven (think, pair, share).

Na het meten van de valhoogte (met een inschatting voor de onzekerheid) en bepaling van de valtijd, kun je een discussie starten over de onzekerheid in de tijdmeting. *Is dit 1,0 s, 0,1 s, 0,01 s of 0,001 s? Of is het iets er tussenin?*

*Normaal gesproken bepaal je de onzekerheid in de tijd op basis van herhaalde metingen, maar welke getallen verwacht je terug te zien als je de meting herhaalt? En welk decimale cijfer zal afwijken?*

Door het aangeleverde Jupyter Notebook bestand te gebruiken, kun je de eindwaarde van  $g$  met bijbehorende onzekerheid uitrekenen.



Conceptcartoon

Controlevraag: *We hebben de meetresultaten uit bovenstaande afbeelding verkregen. Welke informatie er nodig is om een uitspraak te doen over de betrouwbaarheid van de metingen?*

#### Jupyter notebook

Jupyter Notebook is een open-source webtoepassing die verschillende programmeertalen ondersteunt, waaronder Python. Het makkelijkst om het Notebook te gebruiken is via <https://colab.google/>. Je kunt daar het Notebook uploaden. Zie <https://youtu.be/C2yunJ9o2yo> voor een verdere instructie.

## Natuurkundige achtergrond

Elke meting kun je slechts doen met een bepaalde nauwkeurigheid. Soms wordt de nauwkeurigheid bepaald door de apparatuur of soms door de eigenschap die je meet. In de wetenschap wordt het antwoord altijd gegeven met bijbehorende onzekerheid, waarbij de kans dat een herhaalde meting binnen de waarde met bijbehorend onzekerheid zit gelijk is aan 68% ( $P(\bar{x} - \mu_x < x < \bar{x} + \mu_x) = 0,68$ ). Wanneer meerdere grootheden een rol spelen, zoals bij de bepaling van de valversnelling, heeft elke meting een bijdrage. De uiteindelijk waarde van de onzekerheid in deze vergelijking wordt gegeven door:

$$\left(\frac{\mu_g}{g}\right)^2 = \left(\frac{\mu_H}{H}\right)^2 + 4 \left(\frac{\mu_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2$$

De onzekerheid wordt altijd gegeven met maar één significant cijfer. Het eindantwoord wordt gegeven met hetzelfde decimale cijfer (bijv.  $9,8 \pm 0,3 \text{ m/s}^2$ ).

## Tips

De NLT-module Meten en Interpreteren biedt meer aanknopingspunten rond het thema meetonzekerheid. Een mooi vervolg is om leerlingen aan de slag te laten gaan met een van de verschillende methoden om  $g$  te bepalen (bijv. met slinger, kogel met magneetschakelaar, druppelmethode van Ehrlig, versnelling langs een helling met een luchtkussenbaan) en de methode (met bijbehorende voor- en nadelen) te laten presenteren. De universiteit van Aken heeft een filmpje die deze proef demonstreert: [https://youtu.be/zRGh9\\_a1J7s](https://youtu.be/zRGh9_a1J7s)

## A04 CAPPUCINO EFFECT



Geluid in vloeistoffen

10 minuten

vanaf klas 2

Vlak nadat je in een kopje cappuccino roert, tik je een aantal keren achter elkaar met de lepel op het kopje. Binnen enkele seconden neemt de toonhoogte duidelijk hoorbaar toe. Zolang er nog melkschuim is kun je dit na opnieuw roeren nogmaals horen. Hoe kan dat?

### Nodig

Een - bij voorkeur glazen - kop koffie met melkschuim of een kopje chocolademelk met slagroom; een lepeltje.

### Voorbereiding

Zoek op YouTube naar 'cappuccino effect' of 'hot chocolate effect' om te zien hoe je op de juiste manier moet tikken. Roer je cappuccino goed zodat het schuim in de koffie komt.

### Uitvoering

Begin meteen na het roeren met het tikken op de bodem van het kopje. En laat de leerlingen goed luisteren: De toon is in het begin laag en wordt dan binnen een paar seconden hoger.

Laat de leerlingen beschrijven wat ze horen.

Vraag wat de oorzaak ervan kan zijn.

Vaak komen de volgende antwoorden: de stroming van het de ronddraaiende vloeistof, de snelheid waarmee getikt wordt of het schuim. Vervolgens kun je systematisch proeven verzinnen en uitvoeren om elke genoemde hypothese te testen. Leg uit, dat wetenschappers ook vaak zo te werk gaan. Controlevraag: *Hoe zou het geluid veranderen als ik kwik (hogere dichtheid én hogere compressiemodulus) in plaats van koffie in de beker had?*



*Roeren in een kopje cappuccino en dan op de bodem van het kopje tikken.*

### Natuurkundige achtergrond

De voortplantingssnelheid van geluid in een vloeistof of gas is afhankelijk van de dichtheid  $\rho$  en compressiemodulus  $\kappa$  volgens het verband (BiNaS 35 B2):

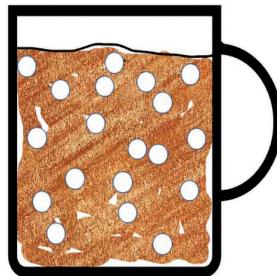
$$v = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$$

De compressiemodulus (of bulkmodulus)  $\kappa$  geeft aan hoeveel drukverandering er in alle richtingen nodig is om (zonder faseovergang) een bepaalde volumeverandering te bereiken. Hoe groter de waarde des te moeilijker laat een stof zich in elkaar drukken. De eenheid van  $\kappa$  is Pa, dat kun je ook de leerlingen met een eenhedenbeschouwing laten berekenen.

Hier een paar typische waarden:

stof	compressiemodulus $\kappa$ (Pa)
lucht (adiabatisch)	$1,4 \cdot 10^5$
olie	$1,2 \cdot 10^9$ tot $1,8 \cdot 10^9$
water	$2,2 \cdot 10^9$
kwik	$2,7 \cdot 10^{10}$
staal	$1,6 \cdot 10^{11}$
diamant	$4,4 \cdot 10^{11}$

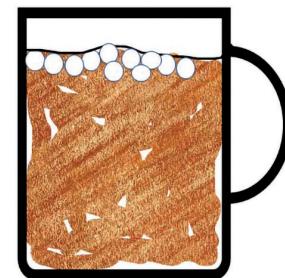
**Net geroerd:**  
veel luchtbellen in de koffie.



Dichtheid vloeistof laag  
⇒ Geluidssnelheid v laag

$$f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \text{frequentie laag}$$

⇒ toon laag



Dichtheid vloeistof normaal  
⇒ Geluidssnelheid v hoger

$$f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \text{frequentie hoog}$$

⇒ toon hoog

#### Schematische uitleg van het cappuccino effect

#### Verder onderzoek

Meet de frequentieverandering (bijvoorbeeld met een *frequency history* meting in de *acoustics* meetopties van de app *phyphox*).

Bereken de geluidssnelheid in water met de gegevens en de formule boven.

#### Tips

- Een alternatieve uitvoering -minder authentiek, maar het effect is makkelijker reproduceerbaar in de klas- maakt gebruik van een kopje koud water en een beetje azijn of citroenzuur. Vlak voor de demonstratie roer je er een theelepel baking soda (natriumbicarbonaat) of bakpoeder door. Hierdoor ontstaan er kleine CO<sub>2</sub>-belletjes.
- Laat leerlingen eerst alleen opschrijven wat zij horen. Geef dan voorbeelden om duidelijk te maken dat geluid sneller door een stof gaat die niet makkelijk in elkaar

te drukken is. Deze hint is misschien genoeg om de leerlingen een goede uitleg te laten geven.

- Op YouTube staan veel versies van de uitleg. Helaas zijn de meeste verkeerd of onvolledig. Hiermee kun je weer een mooi gesprek over de betrouwbaarheid van bronnen voeren.

Tester Vita Vermeulen meldt over een V2-klas: ik heb voordat de les begon een beker met cappuccino gehaald. Ik deed de cappuccino in een glazen beker, zodat de leerlingen de hoeveelheid schuim goed konden zien. Ik heb eerst gevraagd om voor zichzelf op te schrijven wat ze hoorden. De volgende dingen werden opgeschreven; het geluid werd hoger en er werd steeds sneller op de bodem van het kopje getikt. Vervolgens heb ik de leerlingen gevraagd voor zichzelf op te schrijven welke factoren zij dachten dat invloed zouden hebben op de toonhoogte van het geluid. De volgende factoren werden genoemd; de stroming die is ontstaan in de vloeistof door het roeren met het lepeltje, de hoeveelheid schuim, het roeren.

Vervolgens heb ik de twee afbeeldingen (figuur 2) van het kopje met daarin de bellen schuim op twee tijdstippen getekend. Ik vroeg de leerlingen in welke van de twee ze dachten dat het geluid sneller zou gaan en zij gaven allebei aan in de situatie met minder schuim. Ik heb toen uitgelegd dat als de snelheid hoger is in een bepaalde stof, de toonhoogte ook hoger is. Vervolgens heb ik als voorbeeld het kloppen tegen de radiator gebruikt: dat hoor je sneller als je je oor tegen de radiator legt, dan als je door de lucht luistert.

Het viel me op dat de demonstratie ook aan het eind van de les nog lukte (na 45 minuten), dus je hoeft niet heel vlak voor je les een beker cappuccino te halen, dat kan ook 10 minuten eerder. Het toonhoogteverschil was wel minder geworden, dus ik adviseer om voor een nieuwe les wel een nieuwe beker te halen.

## Bronnen

Kijk hier naar de Engelstalige Wikipediapagina: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hot\\_chocolate\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Hot_chocolate_effect)

Crawford, F.S., The hot chocolate effect. American Journal of Physics, 1982. 50(5): p. 398-404.

Planinšić, G. and E. Etkina, Bubbles that change the speed of sound. The Physics Teacher, 2012. 50(8): p. 458-460.

Trávníček, Z., et al., Visualization of the hot chocolate sound effect by spectrograms. Journal of sound and vibration, 2012. 331(25): p. 5387-5392.

## A05 MAGIE OF NIE?



Nature of Science met een hevel



30 minuten



vanaf klas 2

Je toont een verrassend verschijnsel en gebruikt dit om aan het begrip van Nature of Science te werken. Het gaat om de zoektocht, niet om het antwoord.

### Nodig

Twee grote bekerglazen; een klein bekerglas; voedselkleurstof; water; doos; ongeveer 1,5 m aan waterslangetjes; twee trechtertjes; tweezijdig plakband of tape; waterbestendige kit of lijm; lege fles.



Magische doos van tester Aike Stortelder

### Voorbereiding

Zet de doos op een korte kant, deksel aan de achterkant. Boor bovenin twee gaatjes, plaats daar de trechters in. Boor een gaatje aan iedere zijkant. Aan de ene trechter een slangetje dat rechtstreeks door een gaatje aan de zijkant naar buiten gaat. Daar komt een groot bekerglas onder. Net zo voor de andere trechter, behalve dat er tussen in- en uitgang een hevel zit. Snijd de bodem van de plastic fles die je als hevel gaat gebruiken. Boor in de dop van een fles een gat, zet daar een flink stuk slang aan, lijm de slang waterdicht vast en zet de dop terug op het flesje. Bevestig het flesje ondersteboven in de doos. Hang de slang uit de tweede trechter in de fles. De slang die uit de dop komt loopt eerst omhoog tot net onder de bovenrand van de omgekeerde fles. Dan uit het resterende gaatje aan de zijkant. Zet alles goed vast. Maak de slangen aan de buitenkant van gelijke lengte. Zorg dat het uitstrooppunt van de tweede slang *onder* de dop van je flesje zit. Er moet wel een groot bekerglas onder passen. Idealiter ziet de doos er van buitenaf symmetrisch uit. Vul de hevel met water en wat voedselkleurstof tot net onder de rand. Vul het kleine bekerglas met water, net voldoende om de hevel 'aan' te zetten.

### Uitvoering

Vraag leerlingen goed op te letten zodat ze straks precies kunnen vertellen wat ze hebben gezien. Giet dan het water voorzichtig door de eerste trechter. Vang het op in het grote bekerglas en giet het terug in het kleine. Laat de leerlingen de waarnemingen oopschrijven. Te verwachten uitspraken: je giet water in de trechter aan de ene kant en dat stroomt er weer uit door het slangetje aan die kant. Giet vervolgens de vloeistof in het kleine bekerglas door de tweede trechter. Bij een goede afstelling gebeurt er even niets maar dan begint de vloeistof toch uit het slangetje te lopen. Al gauw zie je dat de kleur anders is. Dan blijkt het uitstromen echt

lang te duren. Stop het nog? Ja, uiteindelijk wel.

*Wat zit er in de doos. Overleg met elkaar en maak een schets. Verklaart de schets de waarnemingen?*

Selecteer vragen voor het vervolggesprek:

1. *Jullie hebben een verklaring bedacht, maar waar kwam die vandaan? Wat heb je gebruikt om die te vinden? Ook wetenschappers gaan op die manier te werk.*
2. *Is het nodig om te testen of jullie verklaring goed is? Waarom wel of waarom niet? Hoe kun je jullie verklaring testen?*
3. *Er zijn in de klas verschillende verklaringen bedacht. Als jij de beste verklaring moet vinden, waar ga ja dan op letten*

### Nature of Science

De volgende aspecten van Nature of Science kun je expliciteren naar aanleiding van deze vragen.

1. *Nieuwsgierigheid is een belangrijke drijfveer voor wetenschappers. Als ze iets niet begrijpen is dat niet teleurstellend maar juist interessant en boeiend.*
2. *Wat je waarneemt hangt af van wat er is, maar ook hoe je kijkt. Ook wetenschappers zien iets vaak pas als ze weten waar ze op moeten letten.*
3. *Om te verklaren wat je niet snapt gebruik je kennis die je al hebt. Wetenschappers doen hetzelfde. Bijvoorbeeld, omdat je water kent als een heldere vloeistof waarvan de kleur en hoeveelheid niet zomaar verandert, vond je de eerste gebeurtenis vast niet verrassend. Er viel daar niks te verklaren, maar daarna opeens wel. De verklaring die je verzon, is gebaseerd op kennis en ervaring, maar ook op je creativiteit en fantasie. Ook wetenschappers maken gebruik van creativiteit en fantasie bij het verzinnen van verklaringen!*
4. *Verklaringen worden niet zomaar geaccepteerd. Wetenschappers gaan die eerst heel grondig testen. Er zijn allerlei manieren om dat te doen. Bijvoorbeeld, wat moet er volgens jouw verklaring gebeuren als je nu nog een bekertje water in de doos giet?*

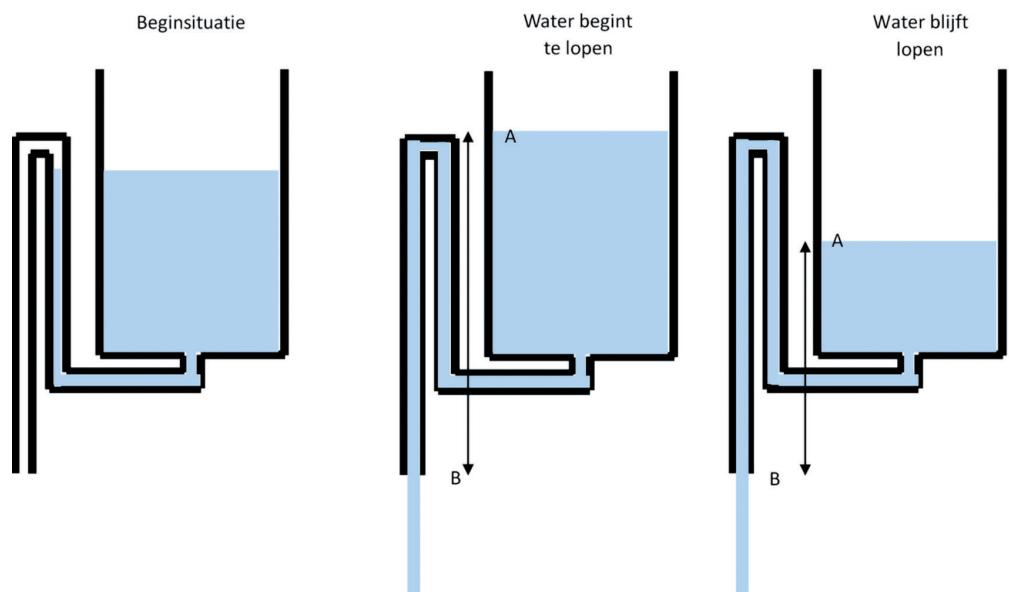
Zie de inleiding voor een verdere bespreking van de eigenschappen van een goede wetenschappelijke verklaring.

### Natuurkundige achtergrond

Zie afbeelding op de volgende pagina. De hevel is aanvankelijk tot bijna aan de rand gevuld (links). Met het beetje extra vloeistof uit de kleine beker loopt de vloeistof bij A de bocht om. De buis loopt omhoog en omlaag maar blijft de hele tijd helemaal gevuld. De kracht die het water de hevel uit en de buis in drijft is gevolg van het drukverschil tussen A (1 bar) en B (vloeistofdruk op diepte AB). De druk wordt bij leegstromen kleiner, maar is pas nul als de hevel helemaal leeg is.

### Tips

Het helemaal leegstromen van een hevel blijft natuurlijk merkwaardig. Keer na de bespreking gerust de doos om en laat zien hoe hij werkt. Misschien is het zoeken naar goede verklaringen net zo belangrijk als ze hebben.



*Schema van de hevel, verbonden met een van de trechters. Bij aanvang is de hevel bijna helemaal gevuld met water en wat kleurstof.*

#### Bron

Lederman, N. G. and Abd-El-Khalick, F. (1998) Avoiding De-natured Science - Activities That Promote Understandings of the Nature of Science. In W.F. McComas (Ed.) *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 243-254.

## A06 CILINDERPUZZEL



Verkennen van de aard van de wetenschap



15-30 minuten



onder- en bovenbouw

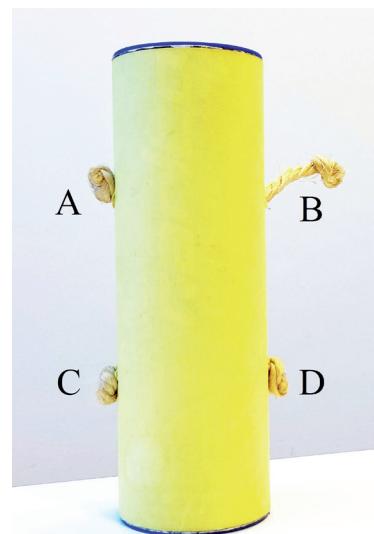
Deze activiteit bevat geen natuurkunde maar toont een model voor de manier waarop natuurkundigen (en andere wetenschappers) werken en wat ze proberen te bereiken. Leerlingen nemen de rol van wetenschapper aan om verwarringende en verbazingwekkende waarnemingen te beschrijven en te verklaren. Daarna kijken ze daarop terug.

### Nodig

Ondoorzichtige cilinder met ondoorzichtige deksels aan beide zijden; ongeveer 50 cm stevig touw of koord.

### Voorbereiding

Maak vier gaten in de cilinder. Gebruik twee stukjes touw, haal ze door de gaten, waarbij de één binnen de cilinder over de ander heen gaat, bijvoorbeeld zoals linksboven op de volgende pagina. Maak ze op maat: beide touwtjes moeten losjes in de cilinder zitten. Leg knopen in de uiteinden. Trek dan aan één van de knopen: dat moet zo iets als figuur 1 opleveren. Steeds moet een paar cm touw tevoorschijn komen, terwijl je het stukje dat uitstak naar binnen trekt.



De cilinderpuzzel - een model van het heelal

### Uitvoering

Leg uit dat de cilinder die je bij je hebt een model is voor het heelal. Je kunt er alleen naar kijken maar er niet komen. De opdracht voor de klas is om dit heelal op een wetenschappelijke manier te bestuderen. Goed kijken wat er gebeurt is dus belangrijk! Trek achtereenvolgens met een kort stevig rukje aan drie knopen, bijvoorbeeld A-B-D-B. Herhaal het een paar keer. Probeer ook eens A-D-B-D-A-B. Laat knoop C met rust.

1. Waarnemen en registreren. *Leg je waarnemingen zorgvuldig en systematisch vast.*
2. Uitleggen. *Wat zou er binnen in de cilinder kunnen zitten, zodat de touwtjes naar binnen en buiten gaan zoals we hebben gezien?*  
Licht toe. *Een uitleg die kan kloppen maar die je nog moet testen heet een hypothese.*
3. Voorspellen.  
*Wat zal er gebeuren als je aan knoop C trekt? Verzamel de voorspellingen. Trek dan aan knoop C.*  
*Maak een tekening. Doe ook andere handelingen die leerlingen voorstellen, zodat*

ze hun hypothese(n) kunnen testen. Ze mogen die aanpassen om ze met de nieuwe waarnemingen te laten kloppen.

#### 4. Antwoorden vergelijken.

Bespreek gezamenlijk de resultaten.

*Is het gelukt om een goede uitleg te verzinnen? Waarom vind je die goed?*

De uitleg moet bij de waarnemingen passen en je moet er juiste voorspellingen mee kunnen doen.

*Weet je nu zeker wat er in de cilinder zit? Waarom?*

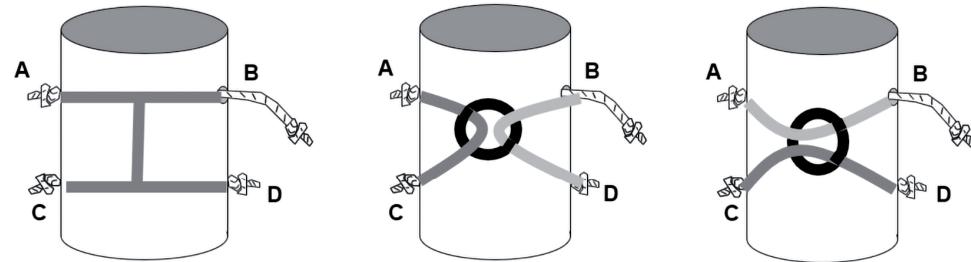
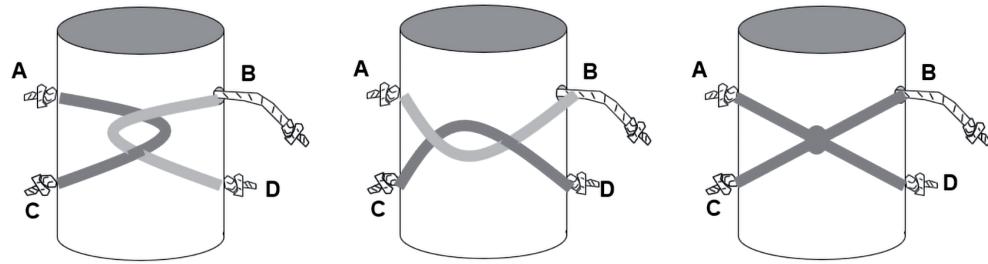
Het maken van een goede uitleg is een uitstekende prestatie. Maar wat er nu echt in zit weet je nog niet: dan zou je moeten kijken.

*Denk je dat iedereen dezelfde oplossing heeft gevonden? Vergelijk de oplossingen.*

Er zijn veel mogelijke oplossingen: figuur 2 laat er een paar van zien. Ook hieruit blijkt dat we nog niet zeker weten wat er in de cilinder zit.

*Hoe zeker ben je van je model? Moet het nog verder getest worden? Wat zou je doen? Hoeveel werk is er nog nodig?*

Je bent pas echt klaar met testen als je weet wat er in de echte cilinder zit. Als je voorspellingen steeds weer kloppen mag je wel aannemen dat je model heel erg goed is. Maar alle modellen in de figuur voorspellen hetzelfde, dus welke is nu de echte?



*Al deze modellen van de inhoud van de cilinder stemmen overeen met alle waarnemingen.*

#### 5. Reflectie: is dit nu wetenschap?

*Waarom hebben jullie niet allemaal hetzelfde antwoord gevonden?*

Het hangt af van je fantasie en ideeën, die zijn voor iedereen anders. Datzelfde geldt voor wetenschappers.

Wetenschappers kunnen ook niet altijd de dingen open maken om te zien hoe ze in elkaar zitten: zwaartekracht, magnetisme, levende dieren, chemische reacties, het heelal. Ze zien alleen de buitenkant. Als je het probeert 'open' te maken werkt het niet meer.

---

## 6. De cilinder open maken?

Laat wie dat écht wil de cilinder nu maar open maken. Echte wetenschappers zouden ook in de cilinder kijken als het kon, want ze zijn vreselijk nieuwsgierig.

### Wetenschappelijke achtergrond

Veel van de dingen die je deed om de cilinderpuzzel op te lossen lijken op wat wetenschappers doen tijdens onderzoek:

- je verzamelt gegevens (kijkt wat er gebeurt als je aan de knopjes trekt en dan omschrijven)
- je trekt conclusies uit de gegevens (bijvoorbeeld: het maakt niet uit aan welk touwtje je trekt, steeds komt daar een stukje naar buiten terwijl het stukje dat uitstak naar binnen gaat)
- je maakt een model (je gebruikte je fantasie en creativiteit om te bedenken wat er in de cilinder zou kunnen zitten)
- je gebruikt je model om voorspellingen te doen, en test die voorspellingen
- misschien verbeter je je model tijdens of na het testen van de voorspellingen.
- Er zijn ook wel verschillen met het werk van wetenschappers. In het heelal dat wetenschappers bestuderen kun je de dingen vaak niet open maken om de binnenkant te bekijken. Wij kunnen kijken, maar wetenschappers weten nooit helemaal zeker hoe alles nu echt werkt.

Door meer waarnemingen te doen en hun modellen aan te passen krijgen wetenschappers steeds meer inzicht in wat er gebeurt en hoe dat in zijn werk gaat. Daarbij gebruiken ze hun creativiteit en fantasie, en ze vinden dus vaak verschillende antwoorden en voorspellingen. Die kunnen ze testen en daarmee hun verklaringen en modellen verbeteren. Maar helemaal klaar zijn ze nooit, en wat ze weten, weten ze nooit absoluut en helemaal zeker.

### Bron

Lederman, N. G. and Abd-El-Khalick, F. (1998) Avoiding De-natured Science - Activities That Promote Understandings of the Nature of Science. In W.F. McComas (Ed.) *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 243-254.

## A07 EEN FONTEIN IN EEN KOLF



*De kracht van vacuüm*



15-20 minuten



onderbouw

Argumenteren en redeneren zijn wezenlijke onderdelen van de natuurkunde. Hoe verbinden we de waarnemingen met elkaar en kunnen we conclusies trekken op basis van die waarnemingen? Deze demonstratie wekt verbazing en leent zich daardoor goed voor het oefenen van redeneren (zie ook de inleiding in het boek, en de tekst hierover in Showdefysica 2). Als je de demonstratie aan het einde van het hoofdstuk uitvoert kennen de leerlingen de noodzakelijke begrippen al.

### Nodig

Doorboorde stop; glasbuis (6mm) met knik; kolf; bekerglas; gekleurde water; brander; veiligheidsbril; statiefmateriaal; plexiglas plaat; opvangbak.



*De gebruikte opstelling voor de fontein in de kolf*

### Voorbereiding

Vul de kolf met een beetje water, maak de opstelling zoals in de afbeelding. Vul het bekerglas met voldoende gekleurde water zodat de kolf zich kan vullen. Zorg voor een opvangbak onder de opstelling.

Plaats een plexiglas plaat tussen de opstelling en de leerlingen.

### Uitvoering

Je gaat de kolf eerst verwarmen en haalt dan de brander weg.

*Voorspel wat er gebeurt tijdens het verwarmen.*

Laat ze hun waarnemingen delen. Let op het verschil tussen waarnemingen (belletjes in het water) en interpretaties (het water verdampst), en hoe je deze met elkaar verbindt.

*Wat gebeurt er in de kolf, en wat gebeurt er met de vloeistof in het bekerglas?*

*Luister goed!* Als het geluid verandert neem je de brander weg. Je ziet hoe de kolf zich razendsnel vult met water tot verbazing van de leerlingen!

*Verklaar wat er gebeurt.*

*Controlevraag:*

Gebruik de conceptcartoon op de volgende pagina om een discussie te starten over de relevantie van argumentatie in de natuurkunde. *Vind je het belangrijk dat we gebruik maken van argumentatie om een natuurkundig verschijnsel te verklaren?*



Patrick

Het is belangrijk dat we precies uitleggen hoe onze conclusies volgen uit de data.



Lucy

Ik vind dat de docent ons maar moet vertellen hoe het precies zit.



Milou

Slimme mensen hebben nagedacht over de natuurkunde die we leren, ik vind het niet zo belangrijk dat we precies weten waar dat vandaan komt.



Joost

Ik weet niet zo goed wat ik er van moet denken...

*Vind je het belangrijk dat we gebruik maken van argumentatie om een natuurkundig verschijnsel te verklaren?*

### Natuurkundige achtergrond

Als je het water in de kolf verwarmt, zie je in het bekerglas belletjes verschijnen (observatie). Het water in de kolf verdampst (onderbouwing) waardoor er een grotere druk in de maatkolf ontstaat (interpretatie). Zodra het verwarmen stopt, stoppen de belletjes, maar stijgt het water in het buisje (observatie). Er is dus een lagere druk in de kolf (claim) doordat het water condenseert (onderbouwing). Als het water de kolf bereikt, zie je een fontein in de kolf (observatie), wat betekent dat de druk in de kolf zeer sterk is afgenomen (claim). Dit komt omdat het koude water dat de kolf bereikt zorgt voor extra koeling en daarmee condensatie van de waterdamp (onderbouwing). Zie: [https://youtu.be/KkY\\_mSwboMQ](https://youtu.be/KkY_mSwboMQ). De knallende geluiden die duidelijk te horen zijn in het filmpje zijn het imploderen van bellen. In de natuur wordt daar ook handig gebruik van gemaakt

Hier zitten nog wel verborgen aannames in: bijvoorbeeld, weten we of het waterdamp is of lucht? Gaat er waterdamp of lucht uit de kolf? Weten we zeker dat de waterdamp die nog in de kolf zit, condenseert en dat daardoor de druk nog sneller afneemt? Dit kan een discussie opleveren over wat er nodig is om tot een sluitende redenering te komen, die de verschijnselen overtuigend verklaart.

### Tips

Je kunt de demonstratie stoppen voordat je de implosiebelletjes hoort, dan gaat de proef ook nog goed.

Plaats een opvangbak onder kolf. Tijdens een uitvoering is de kolf een keer gebrosten. Een buis met een grotere doorsnee vult langzamer en geeft een kortere minder heftige fontein. Zet de buis vast, door de druk kan de buis erg heen en weer gaan schudden en mogelijk afbreken.

## A08 INSTABIELE SYSTEMEN



De sprong naar contact

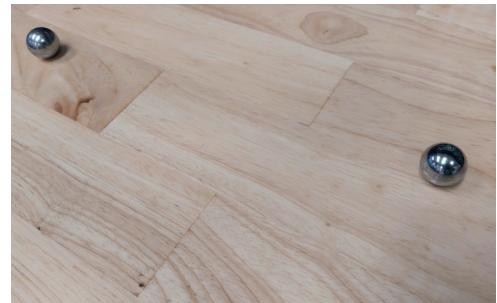
10 minuten

bovenbouw

We lijken allerlei verschijnselen prima te kunnen beschrijven en voorspellen en we waarderen de natuurkunde daarom. Maar kunnen we dat echt wel zo goed? Bij veel systemen, zoals een bal die net stilligt bovenop een berg, zijn de begincondities van groot belang voor het verdere verloop. Een klein zetje, een trilling, is voldoende om de bal aan het rollen te krijgen. Verander je de beginconditie een klein beetje, dan verandert het hele verdere verloop van de gebeurtenis. In deze demo bekijken we één van de vele instabiele systemen.

### Nodig

Twee sterke bolvormige magneten; camera met projectie op het digibord; spijker of plaatje ijzer.



### Voorbereiding

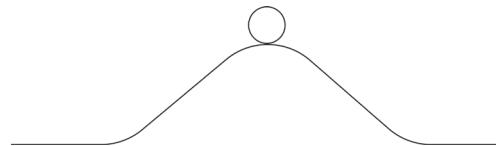
Haal de magneten los van elkaar en leg ze ver weg en 50 cm van elkaar.

### Uitvoering

Leg de leerlingen uit dat de twee 'kogels' magneten zijn. Demonstreer eventueel met een ijzeren plaatje. Vraag de leerlingen wat er gebeurt als je de magneten naar elkaar toe brengt (ze zullen elkaar aantrekken en vastplakken). Breng de magneten naar elkaar toe, maar ver genoeg van elkaar af dat ze nog net niet naar elkaar toe bewegen. Schuif één van de magneten steeds een paar millimeter op, totdat deze na het loslaten wiebelt. Een klein stukje verder en de magneten zullen naar elkaar toe versnellen met een steeds groter versnelling. Sluit de demonstratie af met een uiteenzetting over instabiele systemen en positieve en negatieve feedbacksystemen.

De opstelling vraagt slechts twee grote sterke neodymium magneten.

Controlevraag. *Een bal ligt bovenop een heuvel. Is er sprake van een positief of negatief feedback systeem?* (een klein zetje zorgt dat de bal gaat rollen, de helling zorgt dat de bal vervolgens zelf verder versnelt. Met andere woorden: de positieve feedback zorgt dat het proces, of de uitkomst daarvan, verhoogt.)



*Een bal bovenop een berg is een voorbeeld van een instabiel (chaotisch) systeem; een klein zetje of een trilling is voldoende om de bal aan het rollen te krijgen.*

## Natuurkundige achtergrond

De aantrekkelijke kracht tussen magneten is omgekeerd evenredig met de vierde macht van de afstand tussen de magneten ( $F = C/r^4$ ). Een kleine verandering in de afstand zorgt dus voor een enorme verandering in de kracht. Als de magneetkracht groter is dan de wrijvingskracht zullen de magneten naar elkaar toe schuiven, waardoor de onderlinge kracht nog groter wordt, resulterend in een nog grotere versnelling etc. In de natuurkunde zijn er tal van instabiele, chaotische systemen. Denk bijvoorbeeld aan een stroomkring met een Ohmse weerstand en een NTC in serie. Als er door de schakeling stroom gaat, wordt de NTC warm waardoor de weerstandswaarde daalt. Dit heeft tot effect dat de stroomsterkte nog groter wordt waardoor de NTC nog warmer wordt. Dit is een positief feedback systeem. Het opnemen van een PTC zorgt voor een negatief feedback systeem: De stroomsterkte wordt daar gereduceerd door een toename van de weerstandswaarde.

## Tips

Het is de moeite waard om de sprong naar contact met een slow-motion camera te filmen. Voor de sprong naar contact: zie <https://youtu.be/kYujncY6GEQ>.

## A09 VLAMMENKOELER

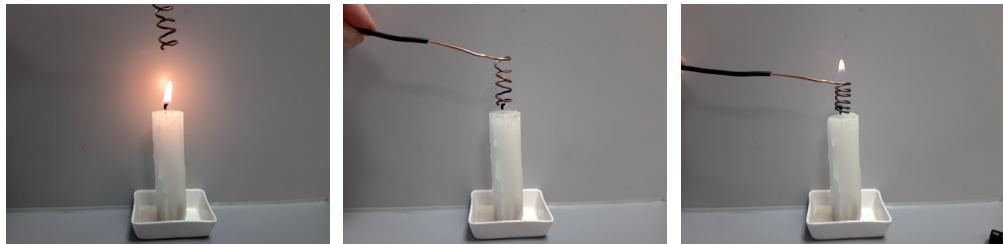


5-10 minuten



vanaf klas 2, uitbreiding vanaf klas 5

Een brandende kaars is een alledaags verschijnsel, maar de natuurkundige en scheikundige effecten die tot het branden bijdragen zijn complex. Deze demonstratie is geschikt om het natuurkundig redeneren van leerlingen te ontwikkelen. Zonder ingewikkelde proefopstelling laat je een verrassend verschijnsel zien. Hoe komt het dat de vlam van een kaars verdwijnt?



De zichtbare vlam van een kaars verdwijnt in de buurt van een koperen spiraal.

### Nodig

Ongeveer 20 cm dik ( $\varnothing$  1 tot 2 mm) koperdraad zonder isolatie; kaars; aansteker of lucifers.

### Voorbereiding

Maak een 1-2 cm lange spiraal van koperdraad door de draad rond een potlood te wikkelen. De windingen moeten niet te strak op elkaar zitten, anders zie je de vlam niet, maar als de windingen te ver uit elkaar zijn is het effect minder. Van tevoren testen dus!

### Uitvoering

Afhankelijk van de kaars en de spiraal zal de proef bij iedereen nét iets anders verlopen. Goed waarnemen is daarom belangrijk.

Steek de kaars aan. Breng de spiraal langzaam van bovenaf over de kaarsvlam. Raak de pit niet aan met de spiraal.

*Schrijf zo precies mogelijk op wat je waarnemt. Wat verbaast je.*

De zichtbare vlam zal bij de spiraal verdwijnen. Als de spiraal losjes gewikkeld is zie je nog net een dun geel flammetje in het midden en een blauwe eromheen. In andere gevallen zal de vlam uitgaan. Als er dan nog walm naar boven stijgt, kun je de vlam boven de spiraal weer aansteken.

Werk alleen of in tweetallen. *Verklaar wat je ziet. Schrijf je hypothese op.*

Verzamel de antwoorden en vraag naar een onderbouwing van hun hypothesen. Op die manier leren de leerlingen verbanden leggen tussen natuurkundige begrippen en eigen ervaringen. Ga geen verklaring afkeuren.

Controle: *Bedenk een experiment om je hypothese te testen.*

## Natuurkundige achtergrond

### Voor klas 2:

Kort en krachtig: voor verbranden zijn drie dingen nodig: brandstof, zuurstof en een voldoende hoge temperatuur. Als je één van de dingen wegneemt, stopt de verbranding. Hier verlaag je de temperatuur.

Wat uitgebreider: Om een kaars te laten branden, moet het kaarsvet in de gasvormige toestand zijn. Je kunt laten zien dat vast kaarsvet niet brandt. Om gasvormige was met zuurstof te laten branden is een bepaalde temperatuur nodig. Koper is een veel betere warmtegeleider dan lucht. De koperen spiraal zorgt ervoor dat de temperatuur van de gasvormige was onder die ontbrandingstemperatuur daalt. De vlam gaat uit. Het gasvormige kaarsvet stijgt wel nog door de spiraal naar boven, brandstof is er dus voldoende. Déze brandstof kun je boven de spiraal weer aansteken.

### Voor klas 5:

Voor verbranding is activeringsenergie (warmte) nodig. Een brandende kaars levert deze energie zelf, aangezien dit een exotherm proces is. Als je nu de koperen spiraal in de vlam houdt, wordt de vrijgekomen energie afgevoerd, zodat de warmte niet meer beschikbaar is als activeringsenergie. De vlam gaat uit.

Dat de vlam in de spoel blauw kan worden, is voor velen verrassend omdat we van de gasbrander weten dat de blauwe of doorzichtige vlam (volledige verbranding) heter is dan de gele vlam (onvolledige verbranding). Bij een kaars is het ingewikkelder. Het aardgas van de gasbrander kan direct reageren met zuurstof in de lucht. Bij de kaars moet eerst het vloeibare kaarsvet verdampen, waarvoor veel energie nodig is, wat dus tot een relatief lage temperatuur ( $600^{\circ}\text{C}$ ) leidt. Vervolgens worden lange ketens van de kaarsvetdamp (bijvoorbeeld palmitinezuur  $\text{CH}_3[\text{CH}_2]_{14}\text{COO}[\text{CH}_2]_{29}\text{CH}_3$ ) thermisch opengesneden, wat weer energie kost (temperatuur in dit gebied:  $800\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ ). Pas dan ontstaat een exotherme reactie met zuurstof (oxidatie). De temperatuur ligt rond de  $1200^{\circ}\text{C}$ . De koperen spiraal onttrekt warmte en zorgt over een langere afstand voor een gebied waar de molecuulketens nog opgebroken moeten worden.

In figuur 2a en 2b zie je een poging de temperatuur te meten door een thermokoppel in verschillende delen van de vlam te houden: De echte temperatuur van de vlam zal hoger zijn dan de aangegeven waarde omdat de temperatuursensor zelf ook warmte geleidt en dus voor afkoeling zorgt. Het is duidelijk te zien dat het gele gedeelte van de vlam heter is dan het doorzichtige deel.



Temperatuur gemeten in (a) het onzichtbare en (b) het zichtbare gebied van de vlam

## Bron

Alle Jahre wieder: die Chemie der Weihnachtskerze, Chemie in Unserer Zeit, 2003, 37, 424–429, Wiley-VCH Verlag, Weinheim. Vrij toegankelijke link: [www.colloids.uni-freiburg.de/Lehre/PCMST/pc-mst-1/WS2010-11/Vorlesung/kerze.pdf](http://www.colloids.uni-freiburg.de/Lehre/PCMST/pc-mst-1/WS2010-11/Vorlesung/kerze.pdf)

## A10 OPGESLOTEN KAARSEN



5-10 minuten

onderbouw

De demonstratie van een brandende kaars, die uitgaat als hij onder een stolp is gezet, kent iedereen (zie Showdefysica deel 1, A03). De demonstratie wordt een stuk leuker als je twee brandende kaarsen met verschillende lengte onder een stolp zet. Een optie is om de demonstratie uit te leggen en de leerlingen te laten voorspellen wat er gaat gebeuren en de demonstratie vervolgens uit te stellen tot de volgende les.

### Nodig

Twee kaarsen van verschillende lengte in een standaard; lucifers; glazen stolp of glazen pot; doekje om het gecondenseerde water van de stolp te verwijderen.

### Voorbereiding

Zet de kaarsen klaar zodat ze makkelijk onder de stolp passen en de stolp dus eenvoudig te plaatsen is.

### Uitvoering

Steek eerst één kaars aan.

1. Wat gaat er met de kaars gebeuren als je die onder de stolp plaatst?
2. Plaats de kaars onder de stolp.
3. *Waardoor gaat de kaars uit?*
4. Leg uit dat bij verbranding zuurstof wordt verbruikt en dat er koolstofdioxide en waterdamp ontstaat.
5. *Hoe zag je beide effecten terug in de stolp?*
6. Zorg dat onder de stolp weer voldoende zuurstofaanwezig is door er even te blazen in de stolp of de stolp een eindje op te tillen en er mee heen en weer te bewegen.



*In een afgesloten glazen pot staan de twee brandende kaarsen met verschillende lengte.*

Je kunt kiezen of je de stappen 7, 8 en 9 dezelfde les of de volgende les uitvoert.

7. Vertel dat je nu twee kaarsen gaat plaatsen van verschillende lengte. Vraag de leerlingen welke het eerste uit zal gaan en een uitleg te geven waarom ze dat denken.
  8. Voer de proef uit.
  9. *Wat is een verklaring?*
10. Controlevraag: *Leg uit waarom een houtkachel een schoorsteen heeft.*

## Natuurkundige achtergrond

Er zijn twee mogelijke verklaringen te verzinnen die allebei plausibel zijn.

1. Zonder stroming: Bij de verbranding ontstaan warme waterdamp en koolstofdioxide. De waterdamp condenseert op de wand van de glazen stulp. Het koolstofdioxide heeft een hoge temperatuur en daardoor tijdelijk een lage dichtheid en zal naar boven gaan. Daar hoopt het koolstofdioxide zich op en vormt een laag aan de bovenkant zodat de bovenste kaars als eerste uitgaat. Zuurstof zal zich meer in het onderste deel van de stulp bevinden.
2. Met stroming: Het hete koolstofdioxide stijgt op in de stulp door de lage dichtheid, koelt af en zakt naar beneden na afkoeling er ontstaat een stroming. De stroom komt als eerste weer bij de lage kaars die er dan zuurstof van verbruikt, zodat de hogere kaars relatief zuurstofarme lucht krijgt. De bovenste kaars zal daarom eerder uitgaan.

Welke verklaring het beste is, kun je uitzoeken met CO<sub>2</sub>-sensoren en temperatuursensoren onder de stulp. De hoogte van de kaarsen tot bovenkant van de stulp zal wellicht ook invloed hebben op het proces.

## Tips

- Voor de zichtbaarheid kun je de opstelling op een verhoging plaatsen.
- Na branden met de eerste kaars moet je de binnenkant van de stulp droogmaken vanwege de gecondenseerde waterdamp.
- Leerlingen associëren de rook van de kaars bij het uitgaan met het ontstaan van koolstofdioxide. Dit is echter gasvormig kaarsvet dat sublimeert. Het verdampen van kaarsvet gaat nog even door. Alleen als je heel goed kijkt zie je in het begin, als de 'stulp' nog niet over beide kaarsen heen staat, de stroming. Je ziet de vlam van de bovenste kaars bewegen. Boven in de stulp zie je geen gecondenseerde waterdamp omdat de temperatuur van de bovenkant van de stulp erg hoog is.
- Je kunt bij de demonstraties ook twee keer de tijd opnemen en vragen waar het tijdsverschil door veroorzaakt wordt.

## A11 LICHT IN HET DUITER



15-20 minuten



onder- & bovenbouw

Waardoor is het 's nachts donker terwijl er zoveel sterren zijn? Waardoor zien we objecten (niet)? Dat zijn wezenlijke maar ook hele interessante vragen in de natuurkunde. Deze demonstratie, afgeleid van Demircioglu & Cin (2019), laat leerlingen op een onderzoekende wijze nadenken over deze vragen.

### Nodig

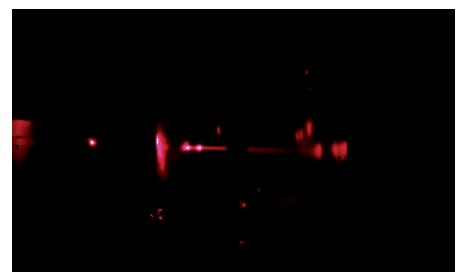
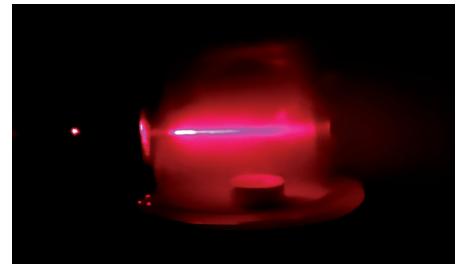
Laser; vacuümstolp & pomp; verduisterde kamer; lucifers en waxinelichtje.

### Voorbereiding

Zorg voor wat rook onder de stolp door het waxinelichtje aan te steken en te doven onder de stolp (eventueel herhalen). De rook zorgt ervoor dat de laserstraal zichtbaar is, zie afbeelding. Lijn de laser zo uit dat hij loodrecht op het glas van de vacuümstolp staat. Verduister de ramen van het lokaal, maar houd het licht aan.



De opstelling



De laserbundel is goed te zien, maar ook de ruimte eromheen wordt verlicht. Naarmate je meer lucht uit de stolp zuigt is de zichtbaarheid minder, totdat de laserbundel in het geheel niet meer zichtbaar is.

### Uitvoering

Begin de demo met de vraag waardoor het heelal donker is ondanks de vele sterren die er zijn. Met al die sterren zou je toch verwachten dat de hele hemel verlicht is? Leg uit dat je die ruimte kunt nabootsen met de vacuümstolp: immers, er zijn nauwelijks deeltjes in de ruimte. De laser kun je beschouwen als een ster.

Zet de laser aan en vraag de leerlingen te vertellen wat ze zien. *Is de laserbundel zichtbaar? Zowel in als buiten de stolp?* Doe nu het licht uit. *Wat is er nu te zien? Is de laserstraal zichtbaar binnen en buiten de stolp? En zit er verschil in lichtsterkte? Als dat laatste het geval is, hoe komt dat (hypothese)? Hoe kunnen we die hypothese(s) toetsen?*

Vraag de leerlingen hun waarnemingen te noteren wanneer je de vacuümpomp aanzet.  
Als de stolp voldoende vacuüm is gezogen, zet je de pomp uit.  
Daarna vragen of er licht is in de stolp, waarom we dingen zien, en wat dat te maken heeft met het donker zijn van de nacht.

Controlevraag. Om te zien of de ideeën bij de leerlingen zijn geland, kun je na deze demonstratie een waar-onwaar-opdracht doen. Bijvoorbeeld:

- De maan geeft licht.
- Licht kan door vacuüm heen reizen. De afstand tot de lichtbron maakt niet uit aangezien licht altijd rechtsgaand is.
- Licht heeft een medium nodig.
- Het is 's nachts donker omdat het heelal vrijwel geheel 'leeg' is.
- Licht kun je altijd zien.

### Natuurkundige achtergrond

Om objecten te kunnen zien moet het licht dat afkomstig is van het object, je oog bereiken. Om lichtbundels te zien is licht-deeltje-interactie noodzakelijk. Omdat het heelal vrijwel geheel vacuüm is, zijn die interacties er nauwelijks. Het licht dat we 's nachts zien is dan ook direct afkomstig van de sterren. Uitzonderingen zijn er wel, zo geeft de maan zelf geen licht, maar kan het 's nachts toch aardig licht zijn bij volle maan.

### Bron

Demircioglu, S., Cin, M.O., 2019, An argumentation-based demonstration experiment in teaching the light-matter interaction, Physics Education.

## A12 ROL EN STOP



*Maar nauwkeurig!*



15-20 minuten



onderbouw / bovenbouw

Dit is één van de ‘Black Box’ activiteiten die geschikt zijn om aandacht te besteden aan de manier waarop wetenschap werkt. Leerlingen nemen waar, leiden daaruit iets af (infereren), bedenken hypothesen en gaan die vervolgens toetsen. Daarbij moeten ze creatief zijn, want erachter komen wat er nu precies aan de hand is, is niet simpel. Misschien zullen we het zelfs wel nooit weten...

### Nodig

Af te sluiten cilinder zoals een verfblik of pvc-buis met afsluitdoppen; stroperige vloeistof (glycerol); een stuk (vis)lood dat goed in de cilinder past; plank onder een kleine hoek.

### Voorbereiding

Vul de cilinder geheel met de vloeistof en doe het lood er bij (was je handen daarna). Stel de plank schuin op zó dat de cilinder nét uit zichzelf gaat rollen.

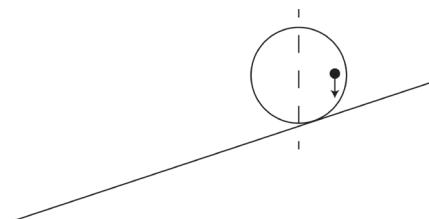
### Uitvoering

1. *Wat voor beweging gaat de cilinder maken als je hem van de plank af laat rollen? Schets een grafiek.* Het is de bedoeling dat de leerlingen niet weten wat er in de cilinder zit. Voer de demo uit.
2. Waarschijnlijk tot ieders verbazing zal de cilinder rollen, stoppen, weer verder rollen en weer stoppen. *Overleg in tweetallen over wat hier aan de hand kan zijn. Maak een tekening van hoe je denkt dat de binnenkant van de cilinder er uit ziet.*
3. Bespreek centraal de verschillende ideeën en schrijf ze op het bord.
4. Laat de leerlingen voor elk van de ideeën (hypothesen) een experiment bedenken waarmee ze hypothese kunnen toetsen. Let wel, de cilinder mag je natuurlijk niet open maken.
5. Voer, indien mogelijk, de experimenten uit. *Is de hypothese bevestigd of niet? Zijn er andere hypothesen die ook afvallen als gevolg van het bedachte en uitgevoerde experiment?*
6. Controlevraag. In plaats van de kennis van de leerlingen te toetsen, kun je hier gebruik maken van een metacognitieve reflectie. Een reflectie moet voor henzelf duidelijker maken wat ze geleerd hebben en waarom dat relevant is.
7. *Noteer wat je nu meer weet over wetenschap en hoe wetenschap werkt.* Vraag de antwoorden op en probeer deze gezamenlijk te categoriseren.

Afhankelijk van de gewenste uitkomst kun je een of meerdere aspecten van NoS bespreken, zie <https://www.nsta.org/nstas-official-positions/nature-science> of de introductie op pagina 20.

### Natuurkundige achtergrond

Door de stroperige vloeistof zal het stuk lood niet onderin de cilinder blijven liggen. Er wordt daardoor een krachtmoment uitgeoefend waardoor de cilinder niet door rolt. Het lood zakt weer naar de onderkant van de cilinder waarna de cilinder weer een stukje door kan rollen.



*De opstelling bestaat uit een cilinder gevuld met een stroperige vloeistof met daarin een stuk (vis)lood.*

## A13 MUZIEK IN EEN KOFFIEKOPJE



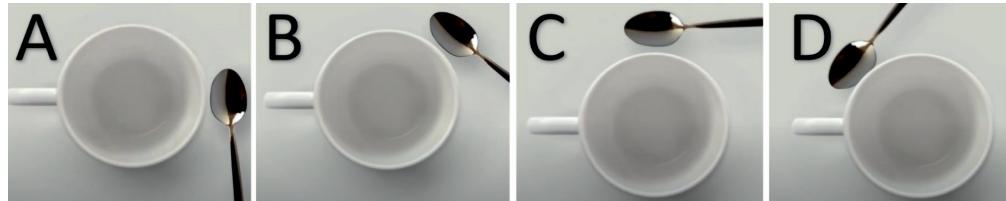
10-45 minuten



vanaf klas 2

Wie met een lepel tegen de rand van zijn koffiekopje tikt hoort een toon. Dat lijkt heel gewoon. Het is juist daarom het onderzoeken waard. De toon die je hoort is namelijk niet overal hetzelfde. Waar hangt de toonhoogte van af?

Je kunt hier vanaf klas 2 een gemeenschappelijk onderzoek met uitleg van maken.



Op verschillende plekken langs de rand van een kopje tikken.

### Nodig

Een kopje met oor; lepeltje; tafeltennis bal aan een draadje; telefoon met phyphox app.

### Voorbereiding

geen

### Uitvoering

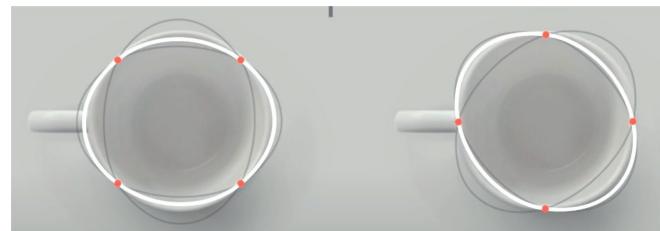
1. Vraag leerlingen naar voren te komen en heel goed te luisteren. Tik dan op verschillende plekken langs de rand tegen het kopje. *Horen jullie verschillende tonen? Wat is het verschil?* De meeste leerlingen horen een verschil in toonhoogte. Diegenen die het niet horen, kun je overtuigen met een frequentiemeting.
2. *Waar zou de toonhoogte van afhangen?* Verzamel ideeën op het bord zonder er meteen op te reageren. Bijvoorbeeld: Hoe hard je slaat; Waar je precies tikt; Met welk deel van de lepel je het kopje raakt; Op welke ondergrond het kopje staat.  
Voor leerlingen van klas 2 is het moeilijk om te beseffen dat het hele kopje trilt; dat zie je namelijk niet en een kopje lijkt zo stug dat het helemaal niet kan vervormen. Om het trillen aannemelijk te maken, kun je een pingpongbal aan een draadje tegen de rand van het kopje houden. Hij zal beginnen van de rand af te stuiteren zodra een het kopje geluid maakt. Ook kun je slow motion filmpjes van andere harde voorwerpen laten zien die vervormen (bijvoorbeeld: 'Vibration. See the unseen: Cymbal at 1,000 frames per second' of 'wine glass resonance in slow motion' op YouTube)
3. Laat leerlingen uitleggen waarom ze denken dat de genoemde factoren (= variabelen) volgens hen invloed op de toonhoogte hebben (= goed onderbouwde hypothese formuleren). Als dat te moeilijk is, geef dan de hint dat het oortje er iets mee te maken zou kunnen hebben.
4. *Kun je een experiment bedenken om de hypothese te toetsen?*

5. *Waarom is iets een goede toets en waar moet je dan allemaal op letten?*  
Bespreek wat een onafhankelijke variabele en afhankelijke variabele is en waarom je iedere keer maar één variabele moet veranderen. Voer een paar van de voorgestelde experimenten. Als het goed is, komen jullie er achter dat alleen de plek van het tikken belangrijk is en dat je bij positie A en C (zie bovenstaande afbeelding) een lagere toon hoort dan bij positie B en D. Op andere plaatsen hoor je uiteraard ook een toon, maar dat kan beter wat later nog uitgeprobeerd worden.
6. *Waardoor is het zo dat de plaats van tikken bepalend is?* Probeer hoe ver je in een klassengesprek tot de natuurkundige uitleg (zie hieronder) kunt komen.

Controlevraag. Voor een bovenbouwklas kun je aansluitend aan de proef een examenopgave maken waarbij hetzelfde effect aan de orde komt: Opgave 1 (Gasniveau meten) CE havo 2023 eerste tijdvak.

### Natuurkundige achtergrond

Als je op de rand van het kopje tikt, ontstaat er een staande golf met vier knopen en vier buiken. Als je in positie A of C tikt, ontstaat er bij het handvat een buik, tikken in positie B of D levert bij het handvat een knoop op, dan staat het handvat dus stil. Als het handvat mee moet trillen (A en C), moet er meer massa in bewegen (bij elke trilling versnellen en vertragen) dat gaat langzamer; de trillingstijd is dus langer, de toon lager. Je kunt het met het blote oog niet zien, maar overdreven ziet het er zo uit:



*Staande golven in een koffiekopje: links de lagere toon, behorend bij A en C; rechts de hogere toon van B en D*

### Verder Onderzoek

1. Je kunt met fourieranalyse (gewoon met een app zoals phyphox op je smartphone) de frequenties voor beide tonen laten zien.
2. Met wat koffie in het kopje kun je bij de juiste belichting met een hogesnelheidscamera de golven in de koffie laten zien.
3. Laat, als iedereen denkt het gesnapt te hebben, de video (zie bron) zonder geluid zien en laat een leerling er *live* uitleg bij geven.

Dit verschijnsel kun je ook voor leerlingenonderzoek gebruiken. Neem dan verschillende maten kopjes met oor. Laat de leerlingen in tweetallen het verschijnsel onderzoeken en er een presentatie over geven, waarin voor moeten komen: theorie, demo, hypothese, metingen, conclusie.

### Bron

[https://www.youtube.com/watch?v=srzRQ\\_bLpUc&t=63s&ab\\_channel=QuantumVisions%28WWUM%C3%BCnster%29](https://www.youtube.com/watch?v=srzRQ_bLpUc&t=63s&ab_channel=QuantumVisions%28WWUM%C3%BCnster%29)

## A14 LED AANSTEKEN EN UITBLAZEN



5-20

minuten



vanaf klas 3

Er gebeurt iets vreemds in de 'black box' dat verklaard moet worden. Hoe werkt het en hoe komen we daar achter? Als je niet in de 'black box' kunt kijken, weet je nooit echt helemaal zeker wat er daarbinnen gebeurt. Je werkt met leerlingen aan hun begrip van 'de aard van de wetenschap'.

### Nodig

Batterij; led; LDR; verbindingsdraden; potmeter; transistor; weerstand; doosje; stokjes.

### Voorbereiding

Bouw het galgje op de doos. Hang de led zó aan het galgje dat hij vrij heen en weer kan bewegen. Leid de verbindingsdraden de doos in. Boor nu recht onder de led een klein gaatje in het deksel en bevestig precies daaronder in de doos de LDR. Nu de schakeling maken en afregelen tot het werkt, bijvoorbeeld met een schakeling zoals in de afbeelding hieronder.

Een aangestoken lucifer boven het gaatje moet genoeg licht geven om de LDR te doen geleiden, en ook het licht dat vervolgens van de led komt moet dat doen. Tegen de led blazen moet de led opzij duwen zodat het licht de LDR niet meer bereikt en het ledje uit gaat. Omgevingslicht vermijden valt niet mee: maak het gaatje klein genoeg en plaats de LDR diep genoeg.



*Op een doosje staat een 'galgje' waaraan een led hangt. Met een brandende lucifer 'steek je de led aan', blaas je ertegen dan gaat hij uit.*

### Uitvoering

Laat zien dat je het ledje, alsof het een kaars is, 'aan' kunt steken met een brandende lucifer en daarna 'uit' kunt blazen. Daag (tweetallen) leerlingen uit om een verklaring te bedenken. De verklaring kan een verhaal bevatten maar er moet een schets bij. Ook zijn ideeën welkom om te testen of de verklaring juist is. De doos moet daarbij wel dicht blijven! Daarna werk je verder met vervolgvragen zoals:

*Jullie bedachten verschillende verklaringen. Als wetenschappers proberen op te lossen, gebeurt dat ook. Worden ze het dan snel eens over wat de beste verklaring is?*

Wetenschappers zijn het vaak en lang óneens, blijven dat ook soms. Toch streven ze wel uit alle macht naar één enkele oplossing. Een mooi voorbeeld is de vraag 'wat is licht?' Daarover was eeuwenlang onduidelijkheid. Bestaat het uit het deeltjes of is het een

golf? We denken nu dat we het weten (soms meer deeltje soms meer golf), maar of dat altijd het antwoord blijft weten we niet.

*Welke van jullie verklaringen is de beste, en waarom? Denk je dat wetenschappers op dezelfde manier bepalen welke verklaring de beste is?*

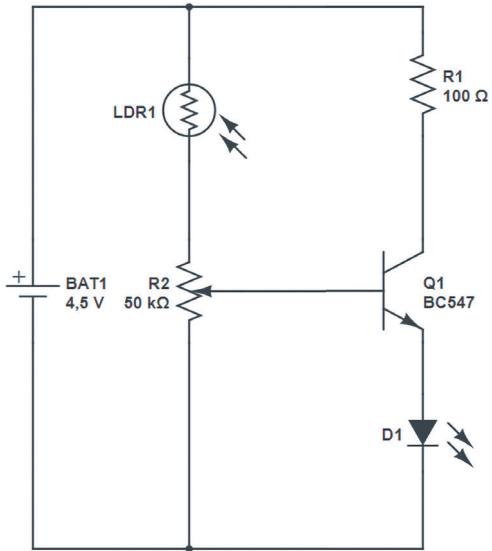
Wetenschappers gebruiken bestaande kennis in hun verklaringen maar ook creativiteit en fantasie. Ze vinden natuurlijk hun eigen verklaringen het best. Dat kan een negatieve invloed hebben op wetenschappelijke ontwikkeling: degene met de ‘grootste’ mond heeft niet altijd gelijk. Daarom gebruiken ze het ‘peer review’. Enkele andere wetenschappers die niet weten wie jij bent beoordelen het werk eerst. Jij weet niet ook niet wie zij zijn, en zowel je medestanders als tegenstanders doen mee. Pas als die het werk goed genoeg vinden mag je je werk publiceren en kan iedereen het lezen. Wat ‘goed genoeg’ is hangt onder andere van het volgende af.

Antwoorden en oplossingen moeten grotendeels passen bij de bestaande wetenschap. Een verklaring waardoor een heleboel andere goede verklaringen ineens niet meer kloppen is niet handig. Komt in je verhaal een elektronische component voor die (nog) niet bestaat dan hebben we er niets aan. Ook een verklaring op basis van kabouter die in het doosje het licht aan en uit doen, accepteren we niet. Bij alle drie geldt: er is geen logische reden om de verklaring te verwerpen, wel een praktische. Soms is het toch nodig om een heleboel eerdere verklaringen te herzien. Einstein werd mede zo beroemd omdat zijn werk herhaaldelijk dat gevolg had.

Antwoorden moeten ook passen bij wat we zien. Bijvoorbeeld, zet je in ons geval de doos op een zijkant dan werkt het niet meer: oplossingen die dat niet verklaren vallen af. Wetenschappelijke kennis moet passen bij wat we waarnemen. Zo maakte de recente waarneming van zwaartekrachtsgolven de theorieën die daar gebruik van maken opeens veel waardevoller. Wat je bedenkt, hangt ook sterk af van je ervaring, je fantasie en je creativiteit. Daardoor hebben ook je culturele en sociale achtergrond (wie je bent, waar je vandaan komt en wat belangrijk is voor jou) invloed. Iedereen mag meedoen en kan in principe positief bijdragen.

*Als we niet op de een of andere manier in de doos kunnen kijken, weten we nooit zeker welke verklaring de juiste is. Is dat in de wetenschap ook zo, en wat hebben we dan aan wetenschappelijke kennis?*

Wetenschappelijke kennis is de beste kennis die we hebben als je wilt weten hoe dingen werken. Kijk naar gezondheidszorg, energievoorziening, voedselvoorziening, communicatie, vervoer, welke menselijke activiteit dan ook: er is geen kennis zo bruikbaar en betrouwbaar als wetenschappelijke kennis. Toch is die kennis niet voor



*Afregelschakeling met potmeter en transistor. Je regelt de potmeter zo af, dat de LDR wel op de led maar niet op omgevingslicht reageert. Gegeven waarden zijn een voorbeeld, geen voorschrift.*

altijd vast en onveranderlijk en mag altijd ter discussie gesteld worden, iedereen mag proberen iets beters te verzinnen. Juist daarom kan de wetenschap groeien en zich ontwikkelen. In onderzoek gebeurt dat voortdurend en ontwikkelt de kennis zich. Bij de kennis in de schoolboeken is dat veel minder en wordt maar heel zelden een stuk kennis vervangen. Maar het blijft in principe mogelijk. Dat maakt wetenschappelijke kennis niet 'ook maar een mening' die morgen kan veranderen. Voor zo'n verandering is systematisch, grondig en grootschalig onderzoek nodig, meer dan voor elke andere kennisvorm.

Controlevraag: *Wetenschappelijke kennis is nooit absoluut zekere kennis. Geef minstens één voordeel en één nadeel daarvan.*

#### **Natuurkundige achtergrond**

De weerstand van de LDR wordt klein als er licht op valt, de stroomkring sluit en de led gaat aan. Omdat licht zich rechtlijnig voortplant gebeurt dat alleen met de lichtbron precies boven het gaatje.

## A15 RADIOMETER VAN CROOKES



Niet botsende fotonen maar.... kruipende gasmoleculen



15-30 minuten



bovenbouw vanaf klas 5

Een radiometer van Crookes of lichtmolen is in veel natuurkundekabinetten te vinden. Als je hem voor het raam zet zal hij beginnen te draaien, maar waardoor doet hij dat? Maak van dit mooie verschijnsel een onderzoeksproject waarmee je laat zien hoe wetenschap werkt.

### Nodig

Een lichtmolen; zonlicht; verschillende lichtbronnen (laserpointer, zaklamp, led); fohn; ijsklontjes; zwart doek.

### Voorbereiding

Leg alle benodigdheden klaar

### Uitvoering

1. Laat zien dat de molen draait zodra hij in het zonlicht komt.
2. Werk in tweetallen en geef een beredeneerde verklaring (= hypothese) voor dit verschijnsel is.
3. Verzamel alle ideeën en vraag vervolgens, om weer in tweetallen een experiment te bedenken om de hypothese te testen. Daarbij mogen alle voorwerpen die klaarliggen gebruikt worden. Ook andere voorstellen zijn goed, als de leerling maar kan uitleggen waardoor het voorstel je dichter bij een antwoord brengt.
4. Grijp je kans om het leren onderzoeken te stimuleren. Breng daarvoor structuur aan in het onderzoek. Bijvoorbeeld door
  - a. Systematisch bij elke stap PEOE (Predict-Explain, Observe-Explain) toe te passen, zie Showdefysica deel 1 pagina 16-18.
  - b. Om het verschil tussen waarneming en conclusie (of interpretatie) duidelijk te maken, kun je een tabel op het bord zetten met de koppen:



Een radiometer van Crookes

#### Experiment

#### Waarneming

#### Interpretatie/conclusie (= volgende testbare hypothese)

---

---

5. Voor het geval dat niemand het voorstelt: laat voorspellen wat er gebeurt als je met ijsklontjes de lichtmolen afkoelt.
6. Als huiswerkopdracht kunnen leerlingen verklaringen op het internet te zoeken. Er zijn daar heel veel verschillende verklaringen te vinden!  
*We kwamen veel verklaringen tegen die niet kloppen. Hoe blijven ideeën bestaan en wanneer verdwijnen ze weer? Hoe zit het met de wetenschapscommunicatie?*
7. Controlevraag: *Waarom zit de lichtmolen in een glazen bol met een lage luchtdruk? Zou hij niet veel beter werken met meer lucht, omdat dan meer moleculen tegen de vinnen botsen?*

### Natuurkundige achtergrond

Mogelijke uitkomst van het onderzoek:

Experiment	Waarneming	Interpretatie/conclusie (= volgende testbare hypothese)
Zonlicht valt op de molen	Molen gaat draaien (glanzende zijde aan de voorkant, zwarte zijde van de wieken aan de achterkant)	Het heeft iets met licht te maken
LED lamp schijnt op de molen	Molen draait niet.	Het is niet het licht maar de warmte die ertoe doet.
Met een föhn de lichtmolen warm maken	Molen draait snel	Het zou inderdaad om warmte kunnen gaan.
Lichtmolen in het donker warm maken	Maar hoe doe je dat in het donker?	Licht doet er niet toe warmte wel.
Lichtmolen met ijs-klontjes koud maken	Molen draait andersom.	De kleur (zwart of reflecterend) van de wieken doet ertoe.
Lichtmolen helemaal vacuüm zuigen	Omdat dit op school niet mogelijk is, vertellen wat eruit komt: de molen draait dan niet meer, ook niet bij zonlicht.	Omdat de molen alleen draait als er nog een beetje gas bij de wieken is, zou het met de beweging van de gasmoleculen te maken kunnen hebben.

Een vaak gevonden verklaring is het volgende: De zwartgekleurde kant van de wiek is warmer dan de glanzende kant; de gasmoleculen op de zwartgekleurde kant hebben dus gemiddeld een hogere snelheid. Wanneer deze snelle gasmoleculen op de donkere kant van de vinnen botst, krijgt de molen (gemiddeld) een grotere "schop" dan de gemiddelde "schop" van de glanzende zijde, waar de moleculen minder snel bewegen, omdat het daar minder warm is. De terugslag van deze "schoppen" duwt op de zwarte kant van de vinnen en is verantwoordelijk voor de waargenomen rotatie.

Helaas is dit niet de laatste stand van de wetenschap: De huidige geaccepteerde verklaring werd door Osborne Reynolds in 1879 geformuleerd. Volgens deze verklaring zou een effect verwant aan *thermische transpiratie* de oorzaak van de beweging zijn: Gemiddeld bewegen de gasmoleculen van de warme naar de koude kant. Door de tangentiële kracht van de beweging van het ijle gas dat van de warmere naar de koudere kant beweegt krijg je een het drukverschil en beweegt de koude (reflecterende) kant naar voren.

---

## Tips

Het is leuk om dit experiment uit te voeren als je met de leerlingen van vwo 6 de Examenopgave VWO natuurkunde 1,2 - 2006 tijdvak I: opgave 2 *Zonnezeil* bespreekt. Laat leerlingen opschrijven of uitleggen wat precies het verschil is tussen de twee effecten voor draaiing door licht. Bespreek of je Crookes radiometer onder bepaalde omstandigheden toch in de andere richting zou kunnen laten draaien.

## Verder onderzoek

In de Engelstalige uitleg op Wikipedia (*Crookes radiometer*) is de hele historie van de verschillende mogelijke verklaringen weergegeven.

## Bron

[https://en.wikipedia.org/wiki/Crookes\\_radiometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Crookes_radiometer)

## WAT IS ZWARE MASSA $m_z$ , WAT IS TRAGE MASSA $m_t$ ?



Je kunt massa op twee manieren definiëren en meten. Via gewicht:  $F_z = m_z g$  oftewel  $m_z = F_z/g$ . Je gebruikt dan een weegschaal om de kracht van de aarde op het voorwerp te meten en je deelt door de bekende  $g$ . OF via weerstand tegen versnelling:  $\Sigma F = m_t a$  oftewel  $m_t = \Sigma F/a$ , voorwerpen met meer massa hebben een grotere weerstand tegen versnelling. In het Nederlands zeggen we dan dat ze een grotere traagheid hebben (Engels: inertia). In dit geval meet je de versnelling van het voorwerp en de resultante kracht die erop werkt. Onze ervaring is dat  $m_z = m_t$  maar waarom zou dat zo zijn? Doel van de demonstratie is te laten zien dat  $m_z$  en  $m_t$  fundamenteel verschillend lijken. Neem een boek of ander voorwerp, leg het op je uitgestoken hand. Wat voel je?  $m_z \cdot g$ ! Neem twee boeken en je voelt  $2m_z \cdot g$ . Leg nu een boek op je uitgestrekte hand en versnel het in horizontale richting. Wat voel je?  $m_t \cdot a$ . Gebruik nu twee boeken en geef die ongeveer dezelfde versnelling als eerst, wat voel je?  $2m_t \cdot a$ .  $m_t$  zou je de weerstand tegen versnelling kunnen noemen.  $m_z$  wordt in een statische situatie gemeten, stilstand.  $m_t$  wordt in een dynamische situatie gemeten bij versnelling. Einstein liet in een gedachten experiment zien dat die twee soorten massa,  $m_z$  en  $m_t$ , gelijk moeten zijn en zelfs fundamenteel hetzelfde moeten zijn. Einstein zelf legde dit uit in een helder hoofdstukje (#20) van 4½ pagina's zonder formules in zijn boekje voor leken uit 1916 (A. Einstein, 1916, Relativity: the special and the general theory).

# B

## Begripsontwikkeling



## B01 VLAMMEN OP DE DRAAITAFEL



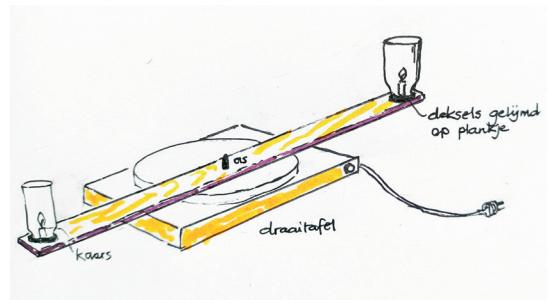
10 minuten

klas 4 vmbo/havo/vwo

Waardoor wijzen vlammen naar boven? Kun je ze ook in andere richtingen laten wijzen? Welke principes zitten erachter?

### Nodig

Pick-up/draaitafel; houten lat van ongeveer 60 cm lang en 5 cm breed; 2 jampotten met deksel; 2 kaarsen; lijm; rietje.



Opstelling met draaitafel en kaarsen

### Voorbereiding

Maak de opstelling (zie afbeelding).

1. Maak een gaatje in het centrum van de lat waarin de as van de draaitafel precies past.
2. Maak wat luchtgaten in de delen van de deksels die buiten het plankje vallen.
3. Lijm of schroef de deksels van de jampotten ondersteboven op de uiteinden van de lat.
4. Bevestig de kaarsen met wat gesmolten kaarsvet in het centrum van de deksels.

### Uitvoering (PEOE)

1. Steek de kaarsen aan bij stilstaande opstelling zonder de potten.  
*Waarom wijzen de vlammen naar boven? Korte discussie.*
2. Laat nu de draaitafel draaien op de laagste snelheid.  
*Hoe wijzen de vlammen? Nog steeds naar boven? Klopt dat?*
3. *PE (predict-explain): Als de kaarsen branden en we de potten eroverheen zetten en vervolgens de draaitafel rond laten draaien, wat gebeurt er dan? Maak een schets van de richting van de vlam en schrijf kort een verklaring over de richting van de vlam die je verwacht.*
4. Je steekt de kaarsen aan en docent + assistent plaatsen onmiddellijk de jampotten en starten de draaitafel op een hogere snelheid.
5. *OE (observe-explain): Wat zien we? Leg uit!*  
Leerlingen antwoorden eerst individueel (op papier) en vervolgens in een klasgesprek.
6. Controlevraag: *Ik ga aan de rechterkant langs een aangestoken theelichtje blazen met een rietje. Wat gebeurt er met de vlam en waarom? De vlam buigt naar de rechterkant, de brandende gassen gaan richting lage druk van bewegende lucht (zie afbeelding hiernaast).*



Blazen met rietje rechts van kaars en de vlam buigt naar rechts.

### Natuurkundige achtergrond

Bij een stilstaande brandende kaars wijst de vlam naar boven. Door de hitte van de vlam zet de lucht boven de kaars uit en is daar minder dicht dan in de omgeving. De brandende gassen van de vlam stromen in de richting van de kleinste dichtheid, dus naar boven.

Wanneer de draaitafel met kaarsen en jampotten draait, heeft de lucht *in* de jampotten de neiging rechtdoor te gaan en het is de wand van de jampot die de centripetale kracht levert om de lucht in de jampot de bocht om te duwen in de cirkelbeweging. Bij de 'buitenwand' (gezien vanuit het rotatiecentrum) van de gesloten jampot zal de lucht dichter zijn dan bij de binnenwand (de wand dichtst bij het rotatie centrum). De vlam wijst naar de plek met kleinste dichtheid, dus naar binnen.

Liem presenteert een draaitafel als een gravitatie machine. Denk aan een enorme gesloten wielstructuur midden in de ruimte, zonder zwaartekracht. Wanneer het wiel niet draait, zweven de mensen net als in skylab. Maar wanneer het wiel draait, worden de mensen tegen de buitenkant gedrukt, dat voelt als zwaartekracht. Zo kun je een buitenaardse gemeenschap bouwen en de draaisnelheid zo afstellen dat de middelpuntzoekende kracht op mensen precies  $mg$  is.

### Tips

- De vlam kan snel doven door zuurstoftekort. We hadden 6 gaten per deksel gemaakt, van 6 mm doorsnede elk, om dat probleem op te lossen. De gaten deden hun werk: de vlam bleef aan zonder dat de luchtstroming de richting van de vlam leek te beïnvloeden.
- We hebben zoals aangeraden een lat van 60 cm lengte gebruikt. Daarbij zorgde een toerental van 33 voor een goed resultaat.
- Het gewenste effect (de vlam buigt af richting het middelpunt is zichtbaar, maar niet heel duidelijk).
- De potten moeten tegelijk vastgeschroefd worden, anders raakt de lat uit balans.

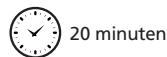
### Bron

T. Liem (1987). Invitations to Science Inquiry. Chino Hills (California), Inquiry Enterprises, pag. 381.

## B02 GRAFIEKEN LOPEN MET SNELLE FEEDBACK



Heen-en-weer denken tussen beweging en grafische presentatie

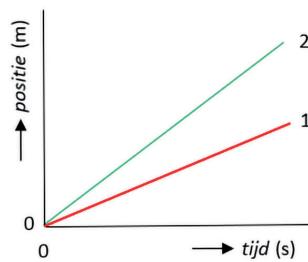


20 minuten

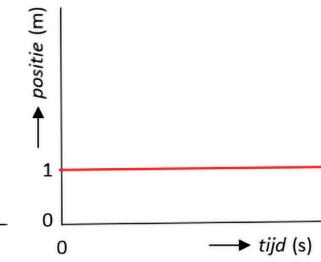


vanaf klas 3

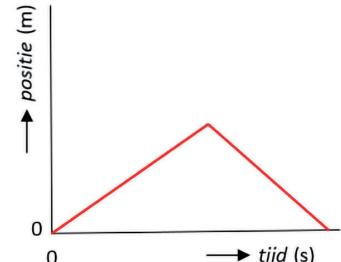
De docent loopt een beweging vóór de klas, de leerlingen schetsen de plaats-tijd grafiek. De docent loopt rond, ziet snel een stuk of tien antwoorden, vraagt desnoods een korte toelichting, en koppelt klassikaal terug. Dan de volgende beweging. Zo kom je in 20 minuten een stuk verder met grafieken in de kinematica.



*Figuur 1. Docent loopt van de 'oorsprong' ergens links voorin de klas naar rechts.*



*Figuur 2. Docent staat stil op positie 1.*



*Figuur 3. Docent loopt naar rechts en dan terug naar links met ongeveer dezelfde snelheid.*

### Nodig

Een bord.

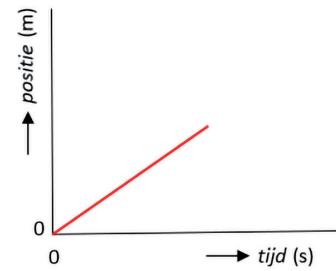
### Voorbereiding

Kies een 'oorsprong' ergens links voorin de klas en markeer die.

### Uitvoering

1. De leerlingen zitten klaar met pen en papier. De docent tekent een assenstelsel met horizontaal de tijd en verticaal de plaats. Leerlingen kopiëren dit. Geen getallen bij de assen te zetten. We gaan nog niet precies meten om te voorkomen dat leerlingen tijd verspillen aan het perfectioneren van het assenstelsel en niet aan de taak zelf toekomen.
2. De docent staat voor de leerlingen links vooraan in het lokaal en kondigt aan dat hij een beweging gaat uitvoeren waarvan de leerlingen de plaats – tijd grafiek moeten schetsen.  
*Ik sta nu in de oorsprong (het punt (0,0)). Nu loop ik terwijl ik aftel: 1, 2, 3, 4, 5, 6. Dit was mijn beweging. Nog een keer, ik ga terug naar de oorsprong op  $t = 0$ , dan 1 grote stap (op  $t = 1$ ), een 2<sup>de</sup> grote stap ( $t = 2$ ), etc. Schets de grafiek van plaats tegen tijd in je schrift.*
3. De docent loopt rond, checkt een stuk of tien grafieken. Als er veel fouten zijn gemaakt klassikaal terugkoppelen. Waarschijnlijk is het goed om deze eerste grafiek even klassikaal punt voor punt op het bord te schetsen.

4. Zelfde beweging als bij 2, maar nu sneller, het eindpunt wordt al in 3 seconden bereikt. De grafiek wordt steiler.
5. De docent loopt weer rond, stelt hier en daar een vraag bij een afwijkende grafiek. Dat kost slechts enkele seconden per vraag maar levert nuttige informatie op voor de klassikale terugkoppeling. Wel de vaart erin houden.
6. De volgende beweging begint terwijl de docent één stap weg van de oorsprong staat en daar blijft staan. Hij zegt: *Dit is mijn beweging, ik blijf staan op 1 stap van de oorsprong.*  
De docent telt de tijd af: 0, 1, 2, 3, 4, 5 en 6. De leerlingen schetsen de grafiek.
7. Bij het rondlopen zal de docent merken dat er leerlingen zijn die slechts één punt tekenen en geen lijn. Even snel klassikaal op terugkomen.  
*Waar was ik op t = 0?* Docent zet punt in de grafiek.  
*Waar op t = 1?* Weer een punt.  
*Waar op t = 2?* Weer een punt in de grafiek.  
*Waar op alle tijden daartussenin?* De docent tekent de lijn.
8. De docent loopt 3 stappen weg van de oorsprong en dan 3 stappen terug. *Schets de grafiek.*  
Bij het rondlopen merkt de docent dat sommige leerlingen langs dezelfde lijn teruggaan, dus terug in de tijd. Maar de klok tikt door!
9. De docent loopt 4 stappen weg en dan terug met dubbele snelheid. *Schets de grafiek!* Docent loopt weer rond en ziet het werk van een stuk of 10 leerlingen.
10. De docent loopt 3 stappen weg, blijft 2 seconden staan en gaat dan met een sprong terug.
11. De docent kan nieuwe variaties verzinnen als er veel fouten gemaakt worden of variaties overslaan als er weinig fouten zijn.
12. In een volgende les kunnen snelheid, tijd- en versnelling, tijd-grafieken aan bod komen.
13. Controlevraag: *Schets het Zandvoortcircuit op het bord en vraag leerlingen een plaats-tijd grafiek te schetsen van een rondje Max Verstappen.*



*Veelgemaakte fout bij weglopen en teruglopen. Veel leerlingen tekenen maar één lijn en -indien gevraagd- vertellen ze dat de docent langs dezelfde lijn teruggaat.*

Vergeleken met computer en een les met een ultrasoon sensor (zie Showdefysica deel 2, A11) is bovenstaande uitvoering snel, geeft geen technische complicaties, vraagt nauwelijks voorbereiding en schept betrokkenheid en plezier. Deze aanpak stimuleert heen-en-weer te denken tussen de beweging van de docent en de grafische representatie ervan.

### Natuurkundige achtergrond

Geen verdere toelichting nodig.

### Tips

Docent vraagt een leerling voor de klas en tekent een grafiek. De leerling loopt de grafiek geïnstrueerd door leerlingen uit de klas.

De docent tekent een aantal grafieken op het bord of op een werkblad. Groepjes leerlingen zoeken met elkaar uit hoe ze die grafieken moeten lopen. Hun discussies zijn een belangrijk onderdeel van begripsleren. Doe dit desnoods op de gang of in een grote zaal.

Bij deze manier van werken maak je het leren zeer zichtbaar en dat is leuk om te ervaren. Ook kom je als docent onverwachte fouten tegen die je vaak snel recht kunt zetten, dat geeft voldoening voor de docent en levert vakdidactische kennis op. En de leerling? Die wordt zich bewust van de eigen vooruitgang en dat is zeer motiverend en geeft zelfvertrouwen.

## Bronnen

- Beichner, R.J. (1996). Test of Understanding Graph-Kinematics. Department of Physics, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-8202.
- Berg, E. van den (2019). Formatieve evaluatie door middel van concept checks: Het opsporen van en reageren op misconceptions bij leerlingen. Enschede: SLO (pdf).  
<https://slo.nl/@12540/formatieve-evaluatie-0/>
- Diepenbroek, P. (2021). Intuïtie creëren voor bewegen. NVOX, 46(10), 58-59.
- Sokoloff, D.R., R.K. Thornton (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. The Physics Teacher, 44(12), 340-347.
- Thornton, R.K., D.R. Sokoloff (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66(4), 338-352.

## ROTATIETRAAGHEID



Bevestig een volle en een bijna lege rol toiletpapier op een stokje.

Rol een stukje af van de volle rol, geef een ruk en het benodigde stuk is los. Bij de bijna lege rol pak je weer de lengte af die je nodig hebt. Geef je nu een ruk, dan krijg je een veel te lang stuk, want de rol rolt door. De volle rol heeft een grotere weerstand tegen versnelling: een grotere rotatietaagheid.



Rotatietaagheid

## B03 KRACHT EN BEWEGING MET EEN BOWLINGBAL



15-20 minuten



vanaf klas 4 vmbo/havo/vwo

Hoe kun je kracht en beweging aan den lijve ondervinden zonder al te veel storing van die lastige wrijving? Met een bowlingbal! Tijdens een klassikale demonstratie op de gang of in de gymzaal proberen enkele leerlingen met bezems de richting van een bowlingbal te beïnvloeden en ze voelen daarbij de essentie van de 1<sup>ste</sup> en 2<sup>de</sup> wet van Newton.

### Nodig

Bowlingbal (bij voorkeur zwaarste soort); bezem; ruimte (gang, kantine, gymzaal).



### Voorbereiding

Eerst zelf proberen hoe je de beweging van een bowlingbal met de bezem kunt beïnvloeden, zowel bij versnelde en vertraagde lineaire bewegingen als bij bochten.

Bedenk dat een rollende bowlingbal schade kan aanrichten!

*De bezem die bij deze demonstratie gebruikt wordt.*

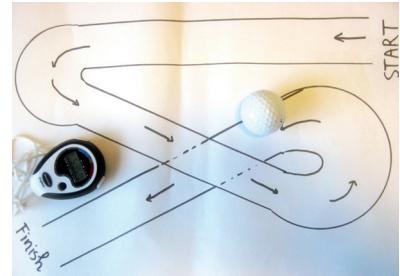
### Uitvoering

*Hoe gaan we de volgende bewegingen uitvoeren?*

1. Versnellen van de bowlingbal vanuit rust (met de bezem).  
Zonder bezem lukt versnellen niet, de bezem moet duwtjes geven.
2. Stoppen van een bewegende bowlingbal.  
Zonder bezem lukt vertragen niet of nauwelijks, de bezem moet duwtjes geven om af te remmen.
3. Handhaven van constante snelheid bij bewegende bowlingbal.  
Bij een zware bowlingbal hoef je vrijwel niets te doen om constante snelheid te handhaven (Newtons eerste wet!). Hoe zwaarder de bal is, hoe kleiner (relatief) de invloed van wrijving.
4. Bowlingbal zo snel mogelijk van start naar finish brengen en terug zonder de start/finish lijnen voorbij te schieten.  
Dit zal vaardigheid en enige oefening vereisen, misschien een leuke activiteit voor de sectie om dit voor de demonstratie even uit te proberen. Voor zowel versnellen als vertragen is kracht nodig (de bezem). De bal heeft een grote neiging door te rollen (traagheid).
5. Laat een bewegende bowlingbal een scherpe bocht naar rechts (of links) maken.  
Voor het maken een bocht is een kracht nodig, die een richtingsverandering veroorzaakt. Let op, een haakse bocht is onmogelijk, de bal heeft grote neiging door te rollen in de oorspronkelijke richting. De nieuwe richting is een optelsom van snelheden in de oorspronkelijke richting en de in krachtrichting.
6. Laat de bowlingbal met constante snelheid door een bocht gaan.  
Hoe houd je de snelheid bij (een deel van) een cirkelbeweging constant? Alleen

als de kracht van het vegen steeds loodrecht op de bewegingsrichting staat. De natuurkunde docent kan dit heel logisch verklaren met wat vectoren, maar misschien wordt dit meer aannemelijker voor leerlingen door de ervaringen met de bowlingbal.

7. Probeer met de bowlingbal een cirkelbeweging te maken met een forse constante snelheid. Hier is ruimte voor discussie. Laat leerlingen het eerst maar eens proberen. Dan komt de vraag in welke richting de kracht moet werken om met constante snelheid (afgezien van richting) door een bocht te gaan? Loodrecht op de bewegingsrichting! Een van ons deed dit in de gymzaal waar al een cirkel was getekend. Iedereen probeerde de bal vanaf de buitenkant van de cirkel te raken, maar één meisje had een slimme methode met harken vanuit het middelpunt van de cirkel.
8. Probeer een traject als in bovenstaande afbeelding te laten afleggen.
9. Leerlingen formuleren in tweetallen de regels over de invloed van krachten op de beweging van de bowlingbal.
10. Controlevraag: *Memphis staat 10 meter voor het midden van een open doel. Hij krijgt een harde voorzet van links van Bergwijn en raakt die precies haaks, loodrecht op de voortbewegingsrichting. Verklaar met een tekening en een redenering waardoor de bal misschien toch niet het doel in gaat.*



*Traject dat je groot in de gang of gymzaal kunt uitzetten. Hier met golfbal in plaats van een bowlingbal.*

### Natuurkundige achtergrond

Newton's eerste en tweede wet. De bowlingbal blijft met constante snelheid rechtdoor gaan tenzij er een nettokracht wordt uitgeoefend. Met de bezem kun je zowel de grootte als de richting de snelheid van de bal veranderen.

#### Impuls

Impuls kun je introduceren als een maat voor de hoeveelheid beweging en heeft ook een richting:  $p = m \cdot v$ . Impuls is een eigenschap van het bewegende voorwerp. Hoe meer massa en hoe groter de snelheid, des te moeilijker is het om het voorwerp te stoppen of van richting te doen veranderen. Vergelijk bijvoorbeeld de bowlingbal met een tafeltennisbal. Om een voorwerp in beweging te krijgen of te stoppen is een kracht nodig. Dat is een interactie met een ander voorwerp, bijvoorbeeld de bezem in dit experiment, of de hand om de bal in beweging te brengen. Kracht is dus geen eigenschap van een voorwerp maar een interactie van voorwerp met de omgeving of een ander voorwerp (bv  $F_{\text{bezem op bowlingbal}}$ ). Kracht is gedefinieerd als de verandering van impuls per tijdseenheid:  $F = dp/dt$ .

Pas dit toe op de bowlingbal: zodra die los van de gooien hand is, welke krachten werken er dan op de bal? Alleen de zwaartekracht en de normaalkracht van de vloer en wrijving. Veel leerlingen zullen geneigd zijn te zeggen "de kracht van de hand op de bal" .... Maar kracht, de 'push' is er alleen zo lang er contact is tussen hand en bal. Wel zijn er kinetische energie en impuls, maar die veranderen alleen als er kracht wordt uitgeoefend.

**Tip**

Soortgelijke ervaringen kunnen leerlingen opdoen met een zwaarbeladen supermarktwagentje. Ook daar voel je hoe moeilijk het is om richting te veranderen en dat de nieuwe richting een superpositie is van de richting van de oorspronkelijk snelheid en de toegediende kracht.

**Bron**

Modeling Physics, AMTA: <https://www.eweblife.com/prm/AMTA>

## ROTATIETRAAGHEID



Maak een draadje vast aan een rubber dop of ander voorwerp en leid de draad door een buisje. Houd die kant vast. Slinger het voorwerp rond met een min of meer constante snelheid. Je maakt de straal van de cirkel kleiner door aan het eind van de draad te trekken. De rubber dop of ander voorwerp zal sneller gaan, behoud van impulsmoment.

## B04 HOVERBAL, MECHANICA ZONDER WRIJVING



5-15 minuten

klas 4 vmbo/havo/vwo

De hoverbal (figuur hieronder) beweegt op een luchtlagje veroorzaakt door een ventilator. Geef hem een zetje in de hal en je moet er achteraanrennen om hem nog net op tijd vóór de trap te stoppen. Hij beweegt vrijwel wrijvingsloos! Met de hoverbal laat je een 'geïdealiseerde wereld' zien: wrijvingsloze natuurkunde. Je kunt de hoverbal heel wat kerken inzetten bij mechanica.

### Nodig

Hoverbal (bestel online); een ruime plek met een gladde vloer (gang, gymzaal).

### Voorbereiding

Toestemming regelen voor een les op de gang of in de gymzaal. Opladen van batterij als dat nodig is.



### Uitvoering

Laat de volgende bewegingen zien:

1. Geef de hoverbal een zet terwijl de ventilator uit staat. *Wat zie je? Leg uit.* *De hoverbal*  
Voorwerpen die wrijving ondervinden komen snel tot stilstand.
2. Zet de hoverbal aan en geef de hoverbal een zetje in de lengterichting van de gang. *Wat zie je? Leg uit.*  
De hoverbal gaat maar door met constante snelheid. Alle krachten zijn in balans, er is geen versnelling/vertraging/richtingsverandering, eerste wet van Newton.
3. Geef de hoverbal een zetje richting leerling.  
Alleen leerlingen in het directe pad van de hoverbal mogen nu duwtjes geven. De hoverbal gaat kriskras de kring rond. De 'duwtjes' zorgen steeds voor een netto kracht met versnelling/vertraging en richtingsverandering als gevolg.
4. Geef de hoverbal een zetje geven in de lengterichting van de gang. Nu mag één leerling een klein zetje geven loodrecht op de bewegingsrichting. *Wat wordt de nieuwe bewegingsrichting?* De oorspronkelijke snelheidsrichting blijft een rol spelen, de nieuwe richting is steeds een optelsom van snelheden. Zo is het ook in balsporten.
5. Controlevraag: *Naomi van As slaat een strafcorner (hockey) hard van links voor het doel en een ploeggenote slaat de bal zonder die te stoppen recht in de richting van het doel. Verklaar waarom het mogelijk is of zelfs waarschijnlijk dat de bal het doel aan de rechterkant voorbij schiet.*

Eventueel impuls ( $m \cdot v$ ) introduceren, impuls geeft hoeveelheid beweging aan. De hoverbal heeft impuls. Impuls verander je door een kracht op het voorwerp, en dat is

een interactie tussen hoverbal en omgeving (de duwende leerling), kracht is niet een eigenschap van de hoverbal.

### Natuurkundige achtergrond

Wetten van Newton: de hoverbal gaat rechtuit met constante snelheid behalve als er een netto kracht is ongelijk aan nul, die kan zorgen voor vertraging, versnelling of richtingsverandering.

### Tips

Laat voorbeelden van impulsveranderingen zien.

Een cirkelbeweging kun je creëren door de hoverbal met een touwtje aan een verticale as vast te maken en een zet te geven dwars op de richting van het touwtje.

In een eerste les kun je kwalitatieve demo's doen gevuld door vragen en opgaven.

In een volgende les kun je een kwantitatieve demo doen. De hoverbal bijvoorbeeld versnellen met een gewichtje aan een katrol of van een helling af laten gaan en dan videometen.

### Bron

Slooten, O. (2022). Modeling instruction™ in de klas: Natuurkunde is modellen bouwen. *NVOX*, 47(2), 8-9.

Modeling Instruction: <https://www.eweblife.com/prm/AMTA>

## B05 MES, FRUIT, HAMER



5 minuten tenzij gecombineerd met andere traagheidsdemo's



klas 2 – 4 vmbo/havo/vwo

Start van de les. De docent staat voor de klas met het mes, een appel en een hamer. Er gaat iets gebeuren.... De docent stekt het mes in de appel totdat deze aan het mes hangt. Dan pakt de docent de hamer, doet even alsof hij gaat timmeren. Stopt en kijkt wat onzeker rond.

### Nodig

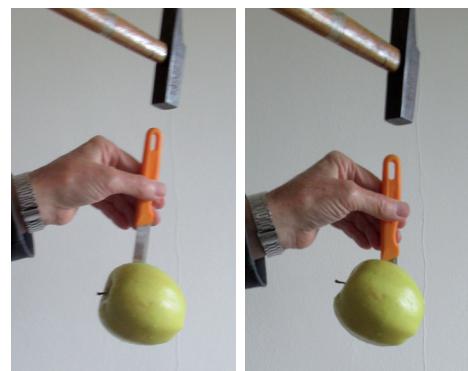
Mes; appel; hamer.

### Voorbereiding

Thuis testen

### Uitvoering

1. De appel hangt aan het mes. *Wat gebeurt er met de appel als ik een tik met de hamer op het mes geef?*
2. Dan gaat de docent echt aan het timmeren. Het mes komt steeds dieper in de appel.
3. *Schrijf nu in duo's in enkele zinnen een complete schriftelijke verklaring op.*  
Daarna volgt een discussie over de beste formulering.
4. Deze demo is goed te combineren met andere demonstraties over traagheid.



1: De appel hangt vrij aan het mes.

2: Situatie na een flinke klap met de hamer.

### Natuurkundige achtergrond

Newton's eerste wet luidt: *elk voorwerp is in rust of beweegt met een constante snelheid tenzij er een uitwendige kracht op werkt* (Hewitt, 2021, p 30). En de tweede wet: *de versnelling van een voorwerp is evenredig met de netto kracht op het voorwerp, is in de richting van die netto kracht, en is omgekeerd evenredig met de massa van het voorwerp* (Hewitt, 2021, p 72). Oftewel  $a = F_{\text{res}} / m$ , de massa is een soort weerstand tegen versnelling, hoe groter de massa, hoe kleiner het versnellingseffect van de kracht. Vandaar ook de naam traagheid voor massa. Nu onze appel. Deze heeft weerstand tegen versnelling, tegen de kracht van de hamer en blijft op z'n plaats.

### Tips

De demonstratie wordt een stuk sterker indien geplaatst in een serie van traagheidsdemo's. Bijvoorbeeld:

- een droog velletje A4 met een ruk weg trekken van onder een glas water op de rand van een tafel,
- een munt op kaartje bovenop een glas en tik tegen het kaartje dat weg vliegt terwijl de munt in het glas valt,

- een aan een touwtje hangende zware kogel met eenzelfde touwtje eronder – bij een ruk breekt het onderste touwtje en blijft de kogel hangen,
- deze fruit demo, en
- het tafelkleed wegtrekken onder servies vandaan (vereist oefening maar is zeer spectaculair!).

### Bronnen

Hewitt, P.G. (2021). Conceptual Physics (13<sup>th</sup> edition). Pearson.

Frederik et al (2017). Showdefysica 2. NVON, pag.86.

Tester Kars Verbeek vraagt de leerlingen van havo4: *wat gaat er gebeuren als ik op het mes sla?* Leerlingen antwoorden: niks/ appel valt/ appel gaat omhoog.  
 Vraagt: *Zonder slaan hangt de appel stil, welke krachten werken dan op de appel?* ( $F_z$  en een kracht naar boven) *Hoe noemen we die? Wie levert die?*  
 Daarna slaat hij met de hamer. De appel gaat duidelijk omhoog. *Waar komt de kracht vandaan waardoor de appel omhoog gaat?* De leerlingen antwoorden dat de kracht van de hamer via trillingen in het mes naar de appel gaan. Maar ik sla naar beneden, waarom draaien de trillingen dan om en gaat de appel omhoog? Ik geef een hint. *Denk aan het tafelkleed waarop de zware dingen blijven staan.*

## ROTATIETRAAGHEID

Maak een simpel bosje sleutels of beter een breekbaar kopje vast aan een touwtje en gebruik een vinger of pen/potlood als as. Aan de andere kant van het touwtje een minder zwaar object (een schroef, een losse sleutel, wat dan ook). Vraag een voorspelling. *Als ik dit loslaat, wat gebeurt er dan?* De docent acteert onzekerheid en vrees. *Zou dit wel goed gaan?* Dan loslaten! Het tegengewicht versnelt en windt zich om het potlood. De wrijving van touw/draad en potlood neemt zozeer toe dat het kopje of de sleutels niet meer vallen. Voor een breed publiek gewoon vertellen wat je ziet. Een discussie staat op de volgende site met ook verwijzing naar een American Journal of Physics artikel voor een complete wiskundige behandeling: <https://sciedemonstrations.fas.harvard.edu/presentations/coffee-mug-string>



Gered door de wrijving

## B06 MANDARIJN



10-20 minuten

vanaf klas 2

Het concept dichtheid wordt door veel leerlingen als lastig ervaren. Over het verband tussen de (gemiddelde) dichtheid van een voorwerp en zinken en drijven zijn veel misconcepten. Dit experiment kan dit, met begeleiding en het stellen van de juiste vragen aan de leerlingen, veranderen en het misconception dat de massa de bepalende factor is bij zinken en drijven wegnemen.

### Nodig

Een groot bekerglas gevuld met water; twee mandarijnen (die ruim in de schil zitten).

### Voorbereiding

Vul het bekerglas voor ongeveer driekwart met water en schil een van de mandarijnen. Leg de mandarijnen naast elkaar op de demonstratietafel, zodat voor de leerlingen onmiddellijk duidelijk is welke voorwerpen er aan de orde zijn.

### Uitvoering

1. Vertel de leerlingen dat je de beide mandarijnen in het bekerglas met water zult doen.
2. *Welke voorspelling hebben jullie over zinken of drijven van de mandarijnen in het water?*
  - A. beide mandarijnen zinken;
  - B. beide mandarijnen drijven;
  - C. de geschilderde mandarijn drijft en de niet-geschilde mandarijn zinkt;
  - D. de niet-geschilde mandarijn drijft en de geschilderde mandarijn zinkt.Laat de leerlingen ook een toelichting geven op hun gekozen antwoord.
3. Plaats de niet-geschilde mandarijn in het water.
4. Verwijder de niet-geschilde mandarijn weer uit het water en plaats de geschilderde mandarijn in het water.
5. Laat de leerlingen in eigen woorden een verklaring geven voor hun waarnemingen. De verwachting is dat de leerlingen daarbij niet de juiste vaktaal zullen hanteren. Leerlingen die het misconception hebben dat massa de bepalende factor is bij zinken en drijven zullen slechts moeizaam tot een verklaring komen.
6. Bespreek het experiment en de fysische verklaring ervan met de leerlingen. Hierbij is het zaak expliciet te benoemen dat de massa dus geen bepalende factor is in een situatie waarin sprake is van zinken of drijven.
7. Controlevraag: *Waardoor zal een geschilderde mandarijn ook in zeewater zinken, terwijl de niet-geschilde mandarijn erin zal drijven?*
8. Controlevraag: *Waardoor zal een geschilderde mandarijn in olie wel kunnen drijven?*



Mandarijnen in water

### **Natuurkundige achtergrond**

Een voorwerp van materiaal met een (gemiddelde) dichtheid groter dan de dichtheid van de vloeistof waarin het voorwerp geplaatst wordt, zal zinken. Een voorwerp van een materiaal met een (gemiddelde) dichtheid kleiner dan de dichtheid van de vloeistof waarin het voorwerp geplaatst wordt, zal drijven.

In dit experiment is de (gemiddelde) dichtheid van de geschilderde mandarijn dus groter dan de dichtheid van water, terwijl de (gemiddelde) dichtheid van de niet-geschilderde mandarijn kleiner is dan de dichtheid van water.

### **Tips**

Veel leerlingen hebben het misconcept dat massa de bepalende factor is bij zinken en drijven. Voor hen is deze proef erg tegen-intuïtief en het is aan te bevelen daarop in te spelen.

Bij de verklaring van het experiment is het van belang de juiste vaktaal te hanteren, zowel door de docent als (uiteindelijk) door de leerlingen. Alleen op die manier kunnen misconcepten ontkracht worden.

### **Verder onderzoek**

Dit experiment herhalen met verschillende soorten fruit. Een aantal zal ook in geschilderde vorm blijven drijven, terwijl anderen in niet-geschilderde vorm kunnen zinken.

## B07 G-KRACHT



20-30 minuten

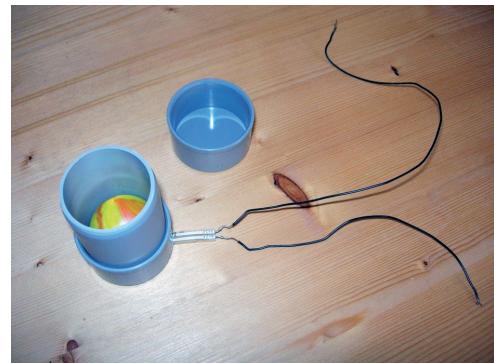


vanaf klas HV4

Ontwerpers van pretparkattracties maken intensief gebruik van versnelling en de G-kracht die er het gevolg van is. Met een mobiele telefoon en een app als phyphox zijn dan fraaie resultaten te boeken.

### Nodig

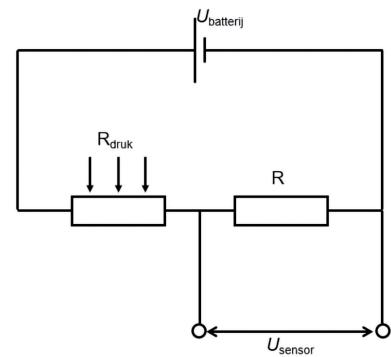
Drukgevoelige weerstand; ohmse weerstand (met een waarde in dezelfde grootte-orde als de drukgevoelige weerstand); elektriciteitsdraad; batterij (9 V); stukje (ongeveer 6 à 8 cm) van een pvc-buis met afdek-doppen; knikker; datalogger of interface.



De opstelling

### Voorbereiding

Bouw de opstelling zoals weergegeven in de figuur. In deze opstelling is een drukgevoelige weerstand op de bodem van een afsluitdop van een stukje pvc-buis geplakt. In de pvc-buis is een knikker geplaatst met een diameter die ongeveer gelijk is aan de binnendiameter van de pvc-buis. Het geheel afsluiten met een tweede afsluitdop. De drukgevoelige weerstand neem je op in een schakeling zoals hiernaast weergegeven.



De schakeling

### Uitvoering

1. Bouw de schakeling en de opstelling zoals beschreven.
2. Breng de sensor in een beweging (bijvoorbeeld een slingerbeweging of een trilling aan een veer) en registreer de sensorspanning met behulp van een datalogger of meetsoftware in de loop van de tijd. Plaats de krachtsensor zo goed mogelijk verticaal.
3. Laat de verkregen meetresultaten zien.
4. Welk deel van de verkregen grafiek (de sensorspanning uitgezet tegen de tijd) komt overeen met welke deel van de beweging?
5. Demonstreer de sensor ook een keer door van een tafel af te springen of een sprintje te trekken.
6. Laat de leerlingen het ( $F_t$ )-diagram voorspellen.
7. Controlevraag: Schets de grafiek als de krachtsensor trilt aan een veer. Geef in de

grafiek aan waar het hoogste en laagste punt in de beweging zijn en waar de krachtsensor door de evenwichtsstand beweegt.

### Natuurkundige achtergrond

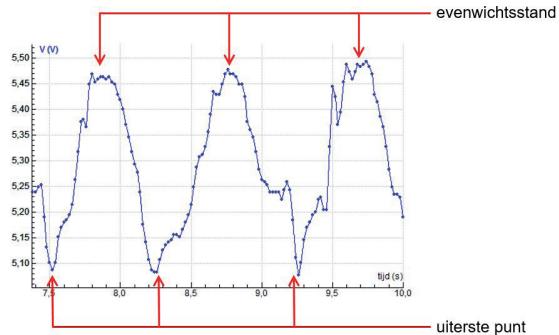
De knikker in de krachtsensor voert een dezelfde beweging uit als de passagier in de pretparkattractie (alleen de massa en dus de krachtwerking is veel kleiner).

Als je plaatsneemt in het stoeltje van een pretparkattractie krijg je op bepaalde momenten het gevoel in het stoeltje gedrukt te worden en op andere momenten juist het gevoel los te komen van het stoeltje. Je kunt de tweede wet van Newton en/of een concept als middelpuntzoekende kracht aan de meting koppelen. Daarnaast is het principe van de krachtsensor nadrukkelijk gebaseerd op de derde wet van Newton.

In de schakeling in de afbeelding hierboven staan de drukgevoelige weerstand en een ohmse weerstand in serie. De weerstandswaarde van de drukgevoelige weerstand neemt af bij het uitoefenen van een toenemende druk (kracht). Dit betekent dat de spanning over de drukweerstand in die situatie ook af zal nemen en dat dientengevolge de spanning over de ohmse weerstand toe zal nemen. Je hebt zo een sensorschakeling waarmee je de relatie kunt meten tussen de uitgeoefende kracht op de drukgevoelige weerstand en de spanning over de ohmse weerstand.

### Tips

- Geschikte bewegingen kun je ook verkrijgen in een pretparkattractie en de benodigde apparatuur hierin mee te nemen.
- Het is mogelijk de krachtsensor te ijken, maar de aanbeveling is de metingen voornamelijk te benaderen op een kwalitatieve wijze. Als een leerling in staat is af te leiden welk deel van de verkregen grafiek overeenkomt met welk deel van de beweging kan een diepgaander conceptueel begrip gerealiseerd worden met betrekking tot krachtwerking in relatie tot beweging. Een voorbeeld van een diagram met meetresultaten is weergegeven in bovenstaande afbeelding.



Meetresultaten van het laten slingeren van de krachtsensor aan een koord.

### Verder onderzoek

Je kunt overwegen de sensor te ijken, waarna ook kwantitatieve metingen mogelijk worden. In de praktijk blijkt dit lastig te realiseren vanwege de uitlijning in de sensor (de knikker moet dan voortdurend op dezelfde plek op de drukgevoelige weerstand liggen).

## B08 DRAAIENDE BLOKJES



10-30 minuten

vanaf klas HV4

Leerlingen vinden begrippen die gekoppeld zijn aan een cirkelbeweging vaak lastig. Voorbeelden zijn het verschil tussen baansnelheid en hoeksnelheid en het inzicht in de middelpuntzoekende kracht. In deze demonstratie combineer je deze begrippen met de wrijvingskracht en ontstaat een situatie waarbij slechts één kracht de middelpuntzoekende kracht levert.

### Nodig

Platenspeler; blokjes met een niet al te grote massa (bijvoorbeeld LEGO-steentjes of DUPLO-poppetjes); weegschaal; liniaal.

### Voorbereiding

Plaats een blokje met een niet al te grote massa op de draaitafel van een platenspeler, zoals ook te zien is op nevenstaande foto. In deze opstelling zijn LEGO-steentjes als massablokjes gebruikt. Bepaal de afstand van het centrum waarop het blokje net gaat schuiven.



De draaitafel met LEGO-steentjes

### Uitvoering

1. Plaats een blokje op een niet al te grote afstand van het midden van de draaitafel en meet deze afstand ( $r$ ) op.
2. Zet de platenspeler aan. Als het goed is, zal het blokje op de draaitafel blijven liggen.
3. *Laat de leerlingen de baansnelheid en de hoeksnelheid van het blokje berekenen.*  
Laat ze dit doen voor zowel een draafrequentie van 33 rpm als voor 45 rpm.
4. *Laat de leerlingen de op het blokje werkende schuifwrijvingskracht berekenen.*
5. Stop de platenspeler weer, plaats het blokje iets verder van het midden van de draaitafel, meet opnieuw de straal van de cirkelbaan en zet de platenspeler opnieuw aan.
6. *Laat de leerlingen opnieuw de baansnelheid, de hoeksnelheid en de werkende schuifwrijvingskracht berekenen.*
7. Herhaal de bovenstaande stap net zo vaak tot het punt bereikt wordt waarbij het blokje van de draaitafel afslingert. Op dat moment is het punt bereikt waarop de maximale schuifwrijvingskracht op het blokje aan de orde is. De maximale waarde voor de statische wrijvingscoëfficiënt (en dus de dynamische wrijvingscoëfficiënt) kun je nu (laten) berekenen.
8. Controlevraag: *Kun je een wrijvingscoëfficiënt groter dan 1 krijgen?*

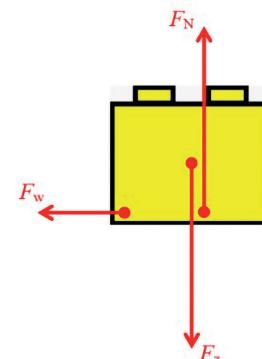
## Natuurkundige achtergrond

Op het blokje werkt een drietal krachten (zie afbeelding hieronder): de zwaartekracht  $F_z$ , de normaalkracht  $F_N$  en de schuifwrijvingskracht  $F_w$ . Op het moment dat het blokje op de draaitafel van de platenspeler ligt, is het de schuifwrijvingskracht die de middelpuntzoekende kracht levert. Er geldt dan:

$$F_w = F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$$

Ook geldt:  $F_w = \mu_s \cdot F_N$

Hieruit is een formule voor de statische wrijvingscoëfficiënt  $\mu_s$  af te leiden.



Drie krachten op het blokje

Voor een afleiding daarvan, zie de website.

## Tips

- Een paar testers melden dat de draaitafel niet glad genoeg was. Zonder de rubbermat of met een plastic hoesje om de mat heen of ingesmeerd met olie ging het wel goed.
- Dit experiment is in de uitvoering niet heel erg spannend en dus is het zaak de leerlingen goed bij de uitvoering en het verzamelen van de meetresultaten te betrekken. Je kunt dan de leerlingen tussendoor wat zaken laten berekenen.
- Het berekenen van de omlooptijd van het blokje (en dus ook de baan- en hoeksnelheid) zal niet voor alle leerlingen even eenvoudig en logisch zijn. Besteed hieraan expliciet aandacht.

## Verder onderzoek

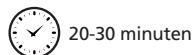
In het experiment kan gevarieerd worden met de omlooptijd (waarbij ook een frequentie van 78 rpm op bepaalde typen platenspelers mogelijk is), de massa van het blokje en het type oppervlak van het blokje en/of de draaitafel. Op die manier kan geëxperimenteerd worden met een diversiteit aan variabelen, wat het experiment ook geschikt maakt als practicum voor leerlingen.

Een van de testers meldt: Op dezelfde straal kun je verschillende massa's aanbrengen en vergelijken of de massa uitmaakt. Wordt een grotere massa eerder van de draaitafel geslingerd?

## B09 HEUVEL OP, HEUVEL AF



Versnellen langs een helling



Leerlingen vinden het interpreteren en koppelen van plaats, snelheid en versnelling in diagrammen vaak lastig. In deze demonstratie maken we tijdens de beweging een  $(v, t)$ -grafiek waaruit het duidelijk wordt dat het karretje op het hoogste punt geen versnelling van  $0 \text{ m/s}^2$  heeft! We maken gebruik van de didactische principes: think-pair-share.

### Nodig

lOlab; helling ~15 cm breed 50 cm lang; computer.



### Voorbereiding

Zorg ervoor dat je vertrouwd bent met de lOlab, dat je sensoren uit kunt uitlezen en een meting kunt starten en stoppen. Bouw de opstelling, deel grafiek papier uit en sluit de lOlab aan op de computer. Kies voor de optie 'Wheel 100 Hz'.

### Uitvoering

1. Leg uit wat er in deze demonstratie gaat gebeuren. Je geeft een karretje een zet en daarmee voldoende snelheid om een stuk de helling op te rijden en weer terug te rollen. Je remt het karretje weer af. Je meet de snelheid van het karretje en moet die weergeven in de  $(v, t)$ -grafiek.
2. Welke  $(v, t)$ -grafiek gaat er ontstaan? Geef daarbij specifieke punten in de grafiek aan (de doorsnijding met  $y$ -as, het karretje op het hoogste punt, etc) (think).
3. Vraag leerlingen om hun grafiek te vergelijken met die van de buren (pair).
4. Vraag een paar leerlingen om hun grafiek te tonen en toe te lichten (share).
5. Voer de demonstratie uit: geef het karretje een goede zet de heuvel op (laat los!) en vang deze op de terugweg weer op ongeveer hetzelfde punt op.
6. Vraag leerlingen te reflecteren op de overeenkomsten en verschillen tussen hun grafiek en de metingen. Geef, wanneer nodig, de juiste interpretatie van de meetresultaten, koppel explicet de drie grafieken aan elkaar en aan de beweging van het karretje.  
Zo kun je stil staan bij:
  - a. Op welk punt in de grafiek bereikt het karretje het hoogste punt?
  - b. Wat betekent een negatieve snelheid?
7. Controlevraag. Een leuk kinderspel is een balletje schieten en dan vangen. Teken het  $(v, t)$ -grafiek van het balletje vanaf het moment dat je het wegschiet totdat je het opvangt.



Balletje schieten

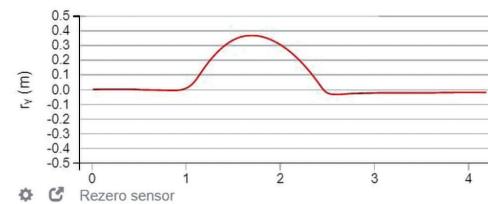
## Natuurkundige achtergrond

De knik in de  $(v, t)$ -grafiek bij 0 komt doordat de wrijvingskracht van richting omkeert.

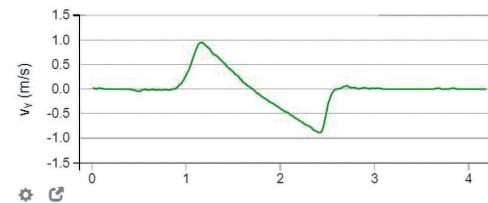
## Tips

- Het grafisch voorspellen van de snelheid en versnelling is een essentieel onderdeel van deze demonstratie. Leerlingen moeten inzien dat wat ze dachten mogelijk niet overeenkomt met de metingen. Zodra een dergelijk ‘cognitieve conflict’ ontstaat kan dit resulteren in leren.
- Een IOlab is op eenzelfde manier te gebruiken bij andere bewegingen, bijvoorbeeld bij de overgang van eenparig versneld naar een eenparige beweging. Laat de auto bovenaan de helling beginnen en horizontaal uitrijden. Volg daarbij wederom bovenstaande stappen.
- Verzwaar je een IOlab met bijvoorbeeld 100 g dan krijg je data met minder ruis.

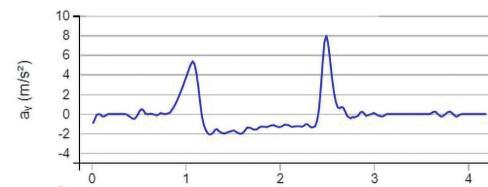
Wheel - Position (100 Hz)



Wheel - Velocity (100 Hz)



Wheel - Acceleration (100 Hz)



Plaats, snelheid en versnelling

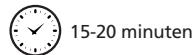
De IOlabs zijn te lenen. Stuur daartoe een mailtje naar [c.f.j.pols@tudelft.nl](mailto:c.f.j.pols@tudelft.nl).

Bij het retourneren van de IOlabs zijn de verzendkosten voor de school. Informatie over het gebruik van de IOlabs vind je via de volgende link:  
[www.iolab.science/getting\\_started.html](http://www.iolab.science/getting_started.html) en een introductiefilmpje via:  
[youtu.be/PwPCHZAv\\_gs](https://youtu.be/PwPCHZAv_gs)

## B10 BOTSING



### Derde wet van Newton



15-20 minuten



bovenbouw, H/V4

Leerlingen vinden de derde wet van Newton lastig. Hij is tegen-intuïtief. Deze demonstratie richt zich dan ook specifiek op dat aspect: bij botsingen zijn er krachtenparen, die krachten zijn even groot (onafhankelijk van de massa's) maar tegengesteld gericht. We gebruiken bij deze demonstratie twee didactische principes: think-pair-share en dan P(E)OE.

### Nodig

2x IOlab; massa; dubbelzijdig tape; computer.

### Voorbereiding

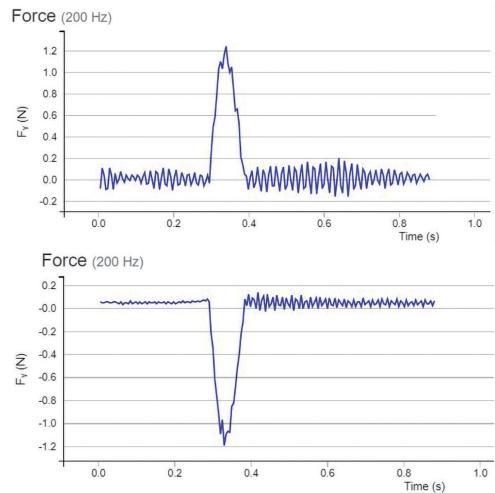
Zorg ervoor dat je vertrouwd bent met de IOlab, dat je sensoren uit kunt uitlezen en een meting kunt starten en stoppen. Schroef de veer op de ene IOlab en bevestig de ring op de andere. Verzwaar één van de twee IOlabs. Bevestig de verzwaaring met dubbelzijdig tape. Maak een baan waarmee de beweging van de IOlabs voor en na de botsing rechtlijnig is en blijft. Bij botsing wil de IOlab wel eens de bocht om gaan.



*Je gebruikt twee IOlabs waarbij je er een ietsje verzwaart.*

### Uitvoering

1. Leg uit wat er bij deze demo gebeurt: één van de karretjes botst al rijdend op het andere karretje. Je meet de krachten die de karretjes op elkaar uitoefenen als functie van de tijd en geeft die weer in een grafiek. Demonstreer de werking van de krachtsensor door de veer in te drukken terwijl de meting loopt.
2. Voorspel hoe de twee ( $F_t$ )-grafieken er uitzien. Geef specifieke punten in de grafiek aan zonder in de uitleg te veel weg te geven over wat mogelijk belangrijke punten zijn. Een alternatief is een aantal ( $F_t$ )-grafieken te tonen en de leerlingen te laten kiezen en hun keuze te laten argumenteren (think).



*De krachten op de IOlabs zijn even groot maar tegengesteld van richting. Ook werken die krachten even lang.*

3. Vergelijk je grafiek met die van de buren (pair).
4. Vraag enkele leerlingen om hun grafiek toe te lichten. (share)
5. Voer de demo uit.
6. Geef een verklaring voor de overeenkomsten en verschillen tussen je eigen grafiek en de metingen.
7. Zou het uitmaken als het andere wagentje al bewoog voor de botsing. Zo ja, waarom? Demonstreer het.
8. Haak in op de reacties van leerlingen; met een aantal richtvragen kun je de leerlingen wel helpen in het opbouwen van een redenering. Vat de derde wet van Newton met hen samen.
9. Controlevraag: Een vrachtwagen heeft pech. Gelukkig is er een automobilist zo aardig om de vrachtwagen naar de dichtstbijzijnde garage te duwen. Beschouw de volgende twee situaties:
  1. De auto trekt op naar een snelheid van 50 km/h
  2. De auto rijdt met een constante snelheid van 50 km/h.

$F_{\text{auto}}$  is de kracht die de auto uitoefent op de vrachtwagen.  $F_{\text{vw}}$  is de kracht die de vrachtwagen uitoefent op de auto.

Wat geldt er voor de krachtwerking tussen auto en vrachtwagen?

$F_{\text{auto}} > F_{\text{vw}}$  in beide situaties

$F_{\text{auto}} = F_{\text{vw}}$  in beide situaties

$F_{\text{auto}} < F_{\text{vw}}$  in beide situaties

$F_{\text{auto}} > F_{\text{vw}}$  in situatie 1 maar niet in situatie 2



De auto duwt de vrachtwagen naar de dichtstbijzijnde garage.

### Natuurkundige achtergrond

Krachten komen altijd in paren. De derde wet van Newton geeft zelfs nog een preciezere beschrijving van die paren: de grootte van de krachten is gelijk en de richting is tegengesteld. Samengevat in een formule:

$$F_{1 \rightarrow 2} = -F_{2 \rightarrow 1}$$

De IOLabs zijn te lenen. Stuur daar toe een mailtje naar [c.f.j.pols@tudelft.nl](mailto:c.f.j.pols@tudelft.nl). Bij het retourneren van de IOLabs zijn de verzendkosten voor de school. Informatie over het gebruik van de IOLabs vind je via de volgende link: [www.iolab.science/getting\\_started.html](http://www.iolab.science/getting_started.html) en een introductiefilmpje via: [youtu.be/PwPCHZAv\\_gs](https://youtu.be/PwPCHZAv_gs)

## B11 SINAASAPPELDRAAIMOLEN



*Newton voor gevorderden*



vanaf klas 5 h/v

Een sinaasappel (met schil!) drijft in water. Water blijft in de emmer als je die rondslingert. Maar wat gebeurt er met de drijvende sinaasappel als je die mee rondslingert?

### Nodig

Doorzichtige emmer met water; sinaasappel; (hogen snelheidscamera).

### Voorbereiding

Een keer oefenen op de plek waar je het wilt demonstreren om er zeker van te zijn dat er niets in de weg staat. Eventueel een hogesnelheidscamera opstellen om precies te kunnen zien wat er gebeurt.

### Uitvoering

Laat de emmer met daarin de sinaasappel zien en vraag: *Als ik de emmer met water en sinaasappel in een verticale cirkel rondslinger, wat gebeurt er dan met de sinaasappel?*



*Drijvende sinaasappel in een emmer met water*

**Versie 1:** (predict-explain, observe-explain) Om iedereen aan het denken te zetten, vraag je eerst iedereen met zijn/haar tafelpartner een voorspelling te doen en er een verklaring voor te geven. Na 2 minuten verzamel je mondeling enkele antwoorden en herhaal je vaak voorkomende voorspellingen en verklaringen zonder daar een oordeel over te geven.

**Versie 2:** (peer instruction) Laat leerlingen binnen 30 seconden individueel (bijvoorbeeld met een stem-app op hun smartphone, of laat het antwoord op onderstaande meerkeuzevraag op een papiertje schrijven en dat omhoog houden) voorspellen wat er gebeurt. Bij deze ronde mogen ze niet overleggen.

- A. De sinaasappel valt eruit.
- B. De sinaasappel zit tijdens het draaien dieper in het water.
- C. De sinaasappel gaat op en neer (ten opzichte van het water). Op het hoogste punt van de cirkel zit hij het diepst in het water en raakt zelfs de bodem van de emmer.
- D. De sinaasappel blijft de hele tijd lang even diep in het water drijven.
- E. Nog iets anders (leg uit!)

Laat het resultaat van de eerste stemronde zien. Nu mag er wel overlegd worden.

Nodig de leerlingen uit om vooral met iemand te praten die een andere mening had.

Als er te weinig variatie in de antwoorden was, kun je ook zelf wat argumenten voor

de verschillende antwoordmogelijkheden geven. Als iedereen uitgepraat is volgt de tweede stemronde. Laat weer de resultaten zien. Vraag wie er van mening veranderd is en waarom. Soms geven leerlingen intuïtief wel het goede antwoord (D), maar kunnen niet goed uitleggen waarom het zo is. Je kunt leerlingen helpen, door te vragen om uit het perspectief (het coördinatenstelsel) van de sinaasappel te redeneren. Welke krachten werken dan op je en hoe voel je dat?

Voer nu de proef uit.



*De sinaasappel blijft op dezelfde hoogte in het water.*

### Natuurkundige achtergrond

Voor de uitleg waardoor het water in de emmer blijft, zie Showdefysica 1, proef 44. Maar nu de sinaasappel: intuïtief denken veel leerlingen dat de sinaasappel dieper in het water gaat zitten (antwoord C). Hoe diep de sinaasappel in het water zinkt, hangt af van de verhouding tussen de zwaartekracht en de opwaartse kracht. Deze blijft gelijk, omdat (vanuit de sinaasappel geredeneerd) de valversnelling  $g$  groter wordt, die zowel in de formule van  $F_z$  als van  $F_{\text{opw}}$  zit.

### Tip

Laat leerlingen vooral veel tekeningen van de krachten maken die hier allemaal werken.

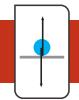
### Verder onderzoek

Maak een opname met een hogesnelheidscamera om precies te kunnen zien wat er gebeurt.

## LUCHTDRUK

Neem een krant mee. Is er een liniaal of ander dun stukje hout dat mag breken? Leg de liniaal zo op de tafel dat een deel uitsteekt over de rand. Leg enkele krantenpagina's erover heen en strijk die glad om de lucht eronder weg te strijken. Sla dan hard op het uitstekende deel van de liniaal. Het papier scheurt niet, de liniaal breekt. Toch sterk, die lucht.

## B12 DAMES EN HEREN



*Zwaartepunt in het lichaam*

5-10 minuten

klas 3 en hoger

Het zwaartepunt van het menselijk lichaam is op verschillende manieren ‘voelbaar’ te maken. In deze demonstratie komt daarnaast het verschil in locatie van het zwaartepunt tussen mannen en vrouwen aan bod.

### Nodig

Paar luciferdoosjes van standaardformaat (kunnen leeg zijn).

### Voorbereiding

Geen

### Uitvoering

Een jongen gaat op zijn knieën zitten en legt zijn onderarmen en handen gestrekt voor zich met de ellebogen tegen de knieën aan (zie afbeelding). Je plaatst een luciferdoosje op de korte zijde staand tegen de vingertoppen aan. De leerling doet daarna zijn handen op de rug en probeert vervolgens om met zijn neus het doosje om te gooien. Hoogstwaarschijnlijk lukt dat niet zonder om te vallen.

Nu is het de beurt aan een meisje. Haar lukt dit kunstje vermoedelijk wel.

Je kunt deze activiteit als demonstratie uitvoeren, maar het is interessanter voor de leerlingen als iedereen het kan ervaren. Dan kun je de opdracht voordoen met een jongen en vervolgens zeggen dat er in de klas zeker mensen zijn die dit wel zullen kunnen. Iedereen probeert het en degene die het wel kunnen, gaan achter in de klas staan en iedereen die het niet is gelukt, gaat vooraan in de klas staan. Dan wordt er vanzelf een onderscheid tussen dames en heren duidelijk. Als dat onderscheid er eenmaal is, dan kun je de leerlingen vragen naar een mogelijke verklaring inclusief schets om die verklaring te ondersteunen, een mooie opdracht om het heen-en-weer-denken te stimuleren.



*Boven: de juiste manier om het luciferdoosje neer te zetten. De handen gaan daarna op de rug. Onder: het lukt Tim niet om het doosje om te gooien met zijn neus, hij valt voorover.*



*Het lukt Allae wel om het luciferdoosje om te gooien en te blijven zitten.*

## Natuurkundige achtergrond

De leerling zal onverbiddelijk kantelen zodra het zwaartepunt voorbij de knieën komt. Bij mannen ligt het zwaartepunt relatief enkele centimeters hoger in het lichaam dan bij vrouwen. Vrouwen kunnen dus verder vooroverbuigen voordat hun zwaartepunt voorbij de knieën komt. De reden voor het verschil in zwaartepunt is het verschil in plek voor de vetopslag. Meestal vindt dat bij vrouwen vooral plaats rondom de heupen en bij mannen rondom de buik. Ook als er geen zichtbare gevolgen van die vetopslag zijn (denk aan een bierbuik), is er meestal toch een merkbaar verschil.

## Tips

- Wees je bewust van gevoeligheden als iemand in de ‘verkeerde’ groep terecht komt. Zeker een dame, die het doosje niet blijkt te kunnen omstoten, kan dat (onterecht) associëren met ruim ontwikkelde borsten.
- Qua theorie kan deze demonstratie of activiteit ook in een eerste of tweede klas, maar er zal een minder duidelijk onderscheid tussen jongens en meisjes ontstaan. Jongens zullen het nog steeds niet kunnen en een groter deel van de meisjes in de groei ook niet. Het zwaartepunt verplaatst pas omlaag tijdens de groeispurt in de puberteit.
- Er zijn veel voorbeelden van sporten waarin de plek van het zwaartepunt een belangrijke rol speelt, zoals bij turnen en hoogspringen. Daar kun je als vervolg op in gaan.

## WRIJVING

Neem een half A4 vel papier, leg het tussen de pagina's van een gesloten boek, trek eraan. Je trekt het gemakkelijk uit het boek. Neem nu 10 van die halve A4 velletjes en leg ze om en om tussen de pagina's van een boek, dus bijvoorbeeld de eerste tussen pagina 72 en 73, de tweede tussen pagina's 74 en 75, enzovoort. Laat ze iets uitsteken. Probeer dan de 10 velletjes tegelijk uit het boek te trekken. Dat is lastig.

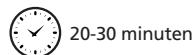


Tien velletjes tegelijk eruit trekken: lastig.

## B13 SPANKRACHT BIJ EEN SLINGER



Spankracht en middelpuntzoekende kracht



bovenbouw HAVO / VWO

De slingerproef wordt vaak als practicum uitgevoerd om met behulp van een voorschrift  $g$  te bepalen uit de relatie tussen de lengte en de periode. Deze demonstratie is een variant. Leerlingen zien de gemeten kracht variëren in de tijd. Om de trillingstijd te bepalen moeten leerlingen gaan nadenken over hoe de spankracht varieert en hoe de positie van het blokje invloed heeft op de grootte van deze spankracht.

### Nodig

Opstelling met statief en krachtsensor; dun touwtje; rolmaat; massablokje (of bal) en meetinterface.

Deze beschrijving maakt gebruik van Coach 7 als meetprogramma. De benodigde bestanden staan op de NVON-site. Een andere meetinterface herkent Coach 7 automatisch.

### Voorbereiding

Start Coach 7 op en open de meetactiviteit. Sluit de krachtsensor aan op een interface. Stel de krachtsensor in op het juiste bereik. Hang het touwtje aan de krachtsensor en stel de sensor in op nul. Hang nu het massablokje (of de bal) aan het touwtje.

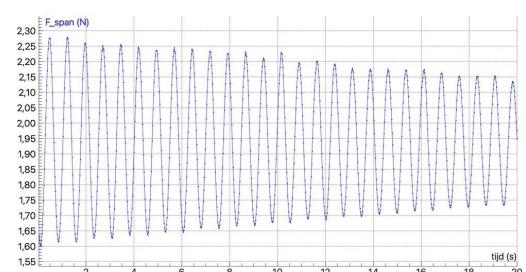
De krachtsensor geeft een negatieve waarde. Didactisch is het beter om deze een positieve waarde te laten weergeven. Maak daartoe een nieuwe variabele aan in een datatabel waarin je de waarde van de krachtsensor vermenigvuldigd met -1.



De opstelling met een bal aan de krachtsensor bevestigd

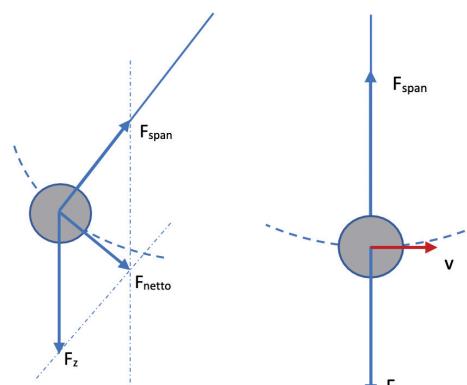
### Uitvoering

1. Laat de leerlingen op basis van de gemeten kracht van het stil hangende blokje de massa uitrekenen.
2. Laat eventueel een grafiek zien van een harmonische trilling (uitwijking tegen tijd).
3. Leg duidelijk uit dat je steeds de spankracht in het touw meet.
4. Welke richting heeft deze spankracht?
5. Hoe zal de grafiek van spankracht tegen de tijd eruitzien als het blokje heen en weer slingert?
6. Voer de meting uit. Geef het blokje een (kleine) uitwijking en druk op Start in Coach 7.



Metingen van de spankracht van een slinger met een lengte van 0,55 m. Gebruik de optie uitlezen in het diagramvenster van Coach 7 om de uiterste waarden af te lezen.

7. Toon het gemeten diagram ( $F_{span}$  tegen  $t$ ) vergroot op het digibord.
8. In welke positie van het blokje is de spankracht minimaal? En in welke positie is de spankracht maximaal?
9. Hoe kun je de trillingstijd van deze slinger in het diagram aflezen en waarom moet dat zo?
10. Laat de leerlingen de krachtenconstructie tekenen of schetsen in de evenwichtstand en in de uiterste stand van de slinger.
11. Laat de leerlingen de uitwijkingsshoek uitrekenen in de uiterste stand.
12. De leerlingen berekenen de snelheid in de evenwichtstand met behulp van de middelpuntzoekende kracht.
13. Controlevraag: Wanneer voel je je het "zwaarst" als je aan het schommelen bent? Waardoor?



Krachtenconstructie in de uiterste stand en in de evenwichtsstand

### Natuurkundige achtergrond

De lengte van de slinger blijft nagenoeg gelijk omdat de lengte van het rekstrookje in de krachtsensor niet verandert bij deze waarden van de spankracht. De slinger voert een harmonische trilling uit mits de uitwijking klein is. De spankracht in het touw is positief en verandert niet van teken zoals de uitwijking wel doet.

In de uiterste standen van de slinger is de spankracht minimaal omdat de snelheid daar gelijk is aan nul. In de evenwichtsstand is spankracht maximaal omdat daar naast het compenseren van de zwaartekracht ook de middelpuntzoekende kracht geleverd moet worden. Door krachtenconstructies (evenwichtstand en uiterste stand) kunnen leerlingen inzien dat de waarde van spankracht verandert als functie van de positie van het blokje. Vanwege de symmetrie van de slinger moeten er dus twee minimale of twee maximale waarden van de spankracht gepasseerd zijn voor het verstrijken van één periode van de slinger. Zie ook Pendrill (2023).

### Tip

Zorg dat het haakje van de krachtsensor haaks op het lusje van het touw staat zodat het blokje in een vlak blijft slingeren.

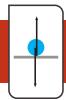
### Verder onderzoek

Gebruik energiebehoudswetten om de snelheid in de evenwichtsstand uit te rekenen. Verifieer deze snelheid met behulp van de middelpuntzoekende kracht die je bepaalt uit de gemeten grafiek. Maak een videometing van het slingerende blokje en verifieer met videometren in Coach 7 je berekeningen.

### Bron

Pendrill, A. (2023) Serious Physics on a Playground Swing—With Toys, Your Own Body, and a Smartphone, *The Physics Teacher* 61, 355 (2023)

## B14 ROTERENDE BALLETJES



*Rotatiesnelheid en balhoogte in slow motion*



5-10 minuten uitvoering, verwerking lesuur



bovenbouw VWO

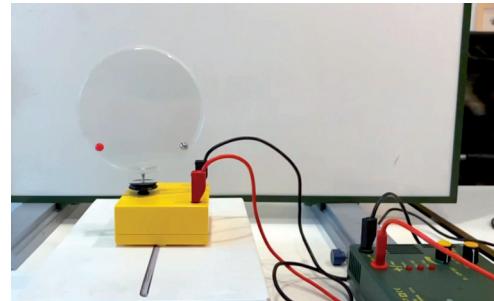
Een eenvoudige proef waar veel vwo-mechanica in zit. Deze demonstratie is snel op te zetten en eenvoudig uit te voeren. Projecteer de opstelling op een digibord en film de beweging in 'slow motion' stand met een mobiele telefoon. Bekijk na de demonstratie het slow motion filmpje en gebruik een screenshot als uitgangspunt voor de verwerking van de proef. Dat de balletjes op de dezelfde hoogte komen is voor veel leerlingen een verrassing.

### Nodig

Gelijkspanningsbron; opstelling dynamica van cirkelbewegingen uit de student experimenteerkit cirkelbeweging (CMA P9901-4R); mobiele telefoon met *slow motion* optie.

### Voorbereiding

Sluit de spanningsbron aan op de draaibasis. Sluit de gele draaibasis aan op de transparante schijf met de twee balletjes. Zet de opstelling goed zichtbaar neer op het bureau. Plaats de mobiele telefoon stabiel naast de opstelling voor de opname. Stel de mobiele telefoon in zodat hij *slow motion* kan opnemen. Probeer van tevoren uit bij welke spanning(-en) de balletjes onder het midden van de transparante schijf blijven draaien.



*Opstelling van de demonstratie. De basis van de roterende schijf bevat twee aansluitpunten voor gelijkspanning. De omloopijd is omgekeerd evenredig met de aangelegde spanning.*

### Uitvoering

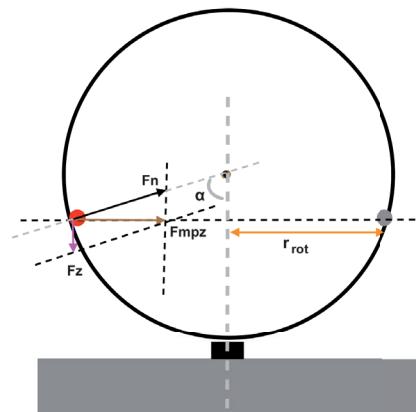
1. Leg de opstelling van de transparante schijf uit. Geef aan dat de balletjes verschillende massa hebben. Weeg ze eventueel voor de proef.
2. *Wat verwacht je als de schijf gaat draaien met de balletjes erin?* (Laat eventueel de schijf eerst draaien zonder balletjes.)
3. Voer de proef uit bij twee verschillende spanningen. Met de slow motion video van de demonstratie is duidelijk te zien dat de balletjes dezelfde hoogte krijgen.
4. Geef de leerlingen een tekening of screenshot van de demonstratie. Leerlingen maken de krachtensconstructie van de situatie.
5. Leid de formule af.
6. *Bereken, met de hellingshoek en de gegeven straal van de rotatiecirkel, de omloopijd en omloopsnelheid van de balletjes.*

## Natuurkundige achtergrond

De wand van de transparante schijf levert de normaalkracht ( $F_n$ ) op het balletje (loodrecht op het oppervlak). Samen met de zwaartekracht ( $F_z$ ) leveren zij de benodigde middelpuntzoekende kracht (deze is gericht naar het midden van het rotatievlak van de balletjes). Zie de figuur hiernaast.

Met behulp van de hellingshoek  $\alpha$  is de volgende formule af te leiden.

$$\tan(\alpha) = \frac{F_{mpz}}{F_z} = \frac{\frac{m \cdot v^2}{r}}{\frac{m \cdot g}{r}} = \frac{v^2}{r \cdot g}$$



Krachtenconstructie bij de roterende balletjes

Hieruit moet duidelijk zijn dat  $\alpha$  onafhankelijk is van de massa van het balletje. Beide balletjes draaien dus op dezelfde hoogte.

Uit de diameter ( $d$ ) van de transparante schijf is de straal  $r_{rot}$  van de rotatiecirkel te berekenen:  $r_{rot} = \sin(\alpha) \cdot (d/2)$ .

Met het screenshot uit de slow motion video is de hellingshoek bij een bepaalde rotatiesnelheid te bepalen.

Met deze gegevens kunnen de leerlingen de rotatiesnelheid berekenen en de omloopijd.

## Tips

- Sommige digiborden kunnen ook livestreamen. Stream het beeld van de telefoon dan naar het digibord en zet de telefoon in de camera stand op 'slow motion'. Dan kunnen leerlingen gelijk meekijken naar de vertraagde beelden van de demonstratie.
- Let op de dat de rotatiesnelheid niet te hoog wordt. De balletjes gaan dan in het midden van de schijf liggen en dat is niet handig voor de krachtenconstructie. De middelpuntzoekende kracht wordt dan bijna geleverd door normaalkracht.

## B15 VERSNELLINGSMETER IN EEN POT



10-20 minuten



bovenbouw

Een snelle demonstratie om een verschil tussen constante versnelling en constante snelheid te tonen. De opstelling is eenvoudig te maken in een oude glazen pot. De demonstratie maakt duidelijk dat snelheid en versnelling verschillende concepten zijn.

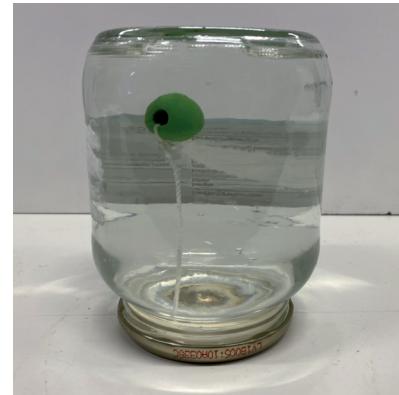
### Nodig

Plastic kraal of kurk (dobber); touwtje; een grote glazen pot; lijm (-pistool).

### Voorbereiding

Knoop een touwtje aan de kraal vast. Neem de lengte van het touwtje ongeveer  $\frac{3}{4}$  van de hoogte van de pot + 1 cm.

Schuur het midden van de binnenkant van het deksel een beetje op. Lijm die 1 cm van het touwtje aan het deksel vast. Vul de pot geheel met water, schroef het deksel goed vast en draai de pot om. De versnellingsmeter is klaar voor gebruik.



*De kraal 'zweeft' in de pot op ongeveer  $\frac{3}{4}$  van de hoogte van de pot.*

### Uitvoering

1. Beweeg de pot (met het deksel omlaag) met constante snelheid in horizontale richting. De pot kun je ook op een karretje plaatsten en dan de kar met een constante snelheid duwen. De kraal blijft in het midden van de pot.
2. *Waarom beweegt de kraal niet ten opzichte van de pot?*
3. *Wat gebeurt er als de pot versnelt?*
4. Versnel de pot naar links of rechts in horizontale richting. De kraal verplaatst in de richting waarin de pot versnelt.
5. *Wat zal er met de kraal gebeuren als de versnelling van de pot een grotere/ kleinere waarde krijgt?*
6. *Wat voor soort 'meetinstrument' is de pot?*
7. Controlevraag: *Wanneer zou je een versnellingsmeter kunnen gebruiken?*

### Natuurkundige achtergrond

Als de pot een constante snelheid heeft beweegt al het water in de pot ook met een constante snelheid. De kraal of kurk beweegt dus mee in het midden.

Als de pot versnelt dan zal wat water achterblijven door traagheid en ontstaat er een miniem verschil in waterdruk in de pot. Als de pot naar links versnelt zal het water links in de pot een lagere druk krijgen en een iets hogere druk rechts in de pot. De kraal wordt naar links getrokken (voelt een kracht naar links als gevolg van dit drukverschil). Hoe groter de versnelling, hoe groter dit drukverschil, hoe schever de kraal zal staan in de pot.

### **Verder onderzoek**

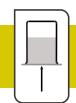
Met behulp van een krachtenplaatje en een opstelling waarvan de versnelling bekend is, kan de pot zelfs een hoek-ijsing krijgen, zodat een versnelling af te lezen is.

Als je een draaiplateau hebt, kun je jezelf ronddraaien met de pot op armlengte. De middelpuntzoekende versnelling zou dan goed te zien moeten zijn.

### **Tips**

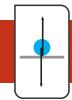
- Voor betere zichtbaarheid neem je een grotere pot en een grotere kraal, kurk of dobber.
- Een houten kraal is geen goede optie aangezien deze zich volzuigt met water en na verloop van tijd zal zinken.

## **WRIJVING EN WARMTE**



Leerlingen wrijven in hun handen en voelen de warmte. Er zijn heel veel andere voorbeelden waar wrijving leidt tot hitte, bijvoorbeeld bij boren en de banden bij autorijden, voel maar eens voor en vlak na een ritje.

## B16 KRACHTIGE BALON



Een meting die verrassend blijkt



5-10 minuten

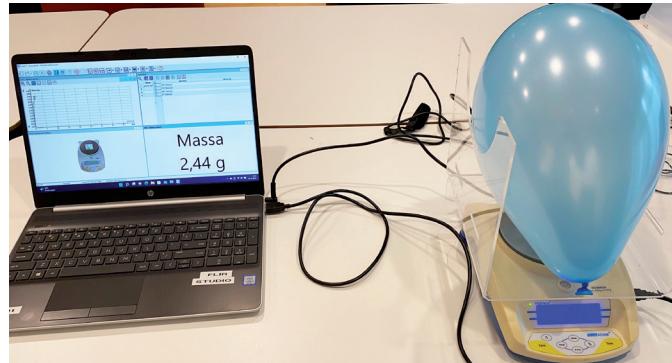


bovenbouw

Alle leerlingen hebben wel eens een ballon opgeblazen. Bij wat er in de ballon gebeurt hebben ze meestal niet stilgestaan. In deze demonstratie laat de docent zien dat er in de ballon allerlei processen spelen en dat je door metingen 'onverwachte' resultaten kunt vinden.

### Nodig

Ballon; elektronische balans met usb uitgang (Adam-balans of andere digitale balans); computer met Coach 7 (of digitale balans met camera erop gericht); transparante standaard om de ballon in te klemmen.



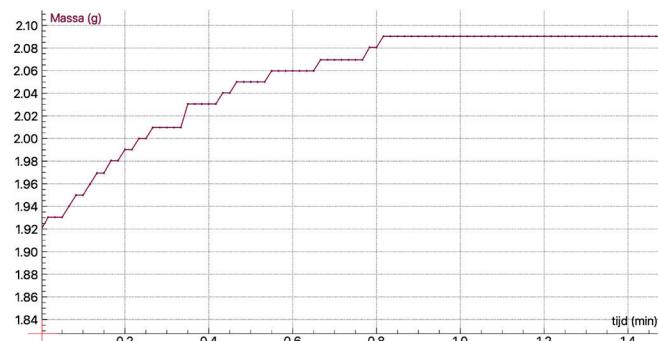
De ballon op de elektronische balans die aangesloten is op de computer.  
Je kunt zo een grafiek tonen met de waarde die de balans aangeeft.

### Voorbereiding

Zet de balans aan met de standaard voor de ballon erop. Zet de balans desgewenst op 0,00 g met de 'tare' knop. Meten met twee metingen per seconde. Blaas de ballon op en plaats deze direct in de standaard op de balans.

### Uitvoering

1. Leg de leerlingen uit hoe de demonstratie in zijn werk gaat.
2. Voorspel wat de balans zal gaan aanwijzen en waarom.
3. Voer de meting uit.
4. Laat met de grafiek zien dat in de eerste twee minuten de massa van de ballon sterk stijgt.
5. Wat kan een verklaring zijn?
6. Geef de uitleg van de demonstratie.



Verandering van de massa door het afkoelen van de ballon

7. Controlevragen: Waardoor wordt een voorwerp zwaarder als je het uit het water tilt? Waardoor heeft een luchtballon meer opwaartse kracht als de lucht in de luchtballon warmer is? Wat zijn de druk en temperatuur in de ballon vóór start van de proef (net na opblazen) en na het bereiken van de evenwichtsmassa?

### Natuurkundige achtergrond

Op de ballon werken twee krachten. Een opwaartse kracht omhoog en de zwaartekracht omlaag. In een opgeblazen ballon is de temperatuur van de lucht ongeveer 37 °C. Dat is lucht met een hogere temperatuur dan de lucht buiten de ballon. De lucht in de ballon zal afkoelen door warmteafgifte naar de omgeving. Bij een lagere temperatuur van de lucht hoort een lagere druk. Het volume van de ballon zal afnemen.

Omdat de opwaartse kracht evenredig is met het volume van de ballon, zal deze kracht kleiner worden. De balans zal dus meer gaan aanwijzen. De verandering van massa is in de orde van een paar tienden van grammen en goed te meten met een elektronische balans. Een indicatie van het verschil in volume vind je met de formule voor opwaartse kracht:

$$F_{\text{opw}} = \rho \cdot g \cdot V$$

Met een verschilmassa van 0,20 g, rekenen we uit dat de volumevermindering van de ballon 150 mL is. Onze ballon met een 'straal' van 10,0 cm heeft een volume van ongeveer 4,2 L. De straal van de ballon met een volume van 4,05 L is 9,9 cm. Deze volumeverandering is niet met het blote oog waar te nemen.

Het effect is het sterkst waar te nemen net na het opblazen. Na een paar minuten is de evenwichtsmassa bereikt en is de druk in de ballon gelijk aan de buitenluchtdruk plus de druk van de ballon. De temperatuur van de lucht in de ballon is dan gelijk aan de omgevingstemperatuur.

### Tips

- Naast de grafiek kun je ook de waarde van de massa op een scherm tonen. Film of maak een foto met een FLIR-C5-camera om aan te tonen dat de temperatuur van de ballon hoger is dan de buittemperatuur. Verwarm (de lucht in) de ballon desgewenst met een föhn om het effect sterker te maken. Plaats de ballon op een koker of op een beker voor betere ondersteuning tegen bewegen door luchtstromingen en dergelijke.
- Tip van een tester: werk in een tochtvrije ruimte.

Een uitgebreide analyse en meer leuke demonstraties met opgeblazen ballonnen zijn te lezen in: Brouwer, R. (2012).

### Bron

Brouwer, R. (2012), Ballonnen, NVOX 37, nr. 8, 2012

## B17 IN DE LIFT



10-20 minuten

bovenbouw

Leerlingen hebben veel moeite met negatieve snelheid in een ( $v, t$ )-diagram. Door een meting met de meetapp phyphox op de smartphone in een lift kunnen ze het zelf ervaren.

### Nodig

Lift; smartphone met de phyphox app;  
optie 'Druk' en 'Lift'.

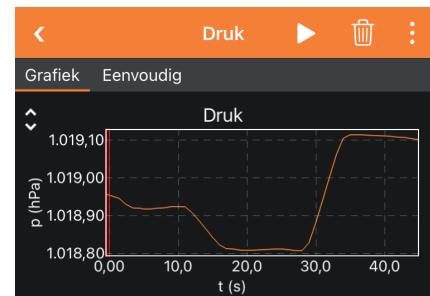
### Voorbereiding

Zoek een (hoog) gebouw met een lift. Start de phyphox app, kies de meetomgeving 'Lift' en start de meting als je in de lift beweegt. Sla de meting op en exporteer als plaatje of als gegevens met de drie-bulletjes-knop in de app. Oefen met de optie 'Druk' in phyphox.

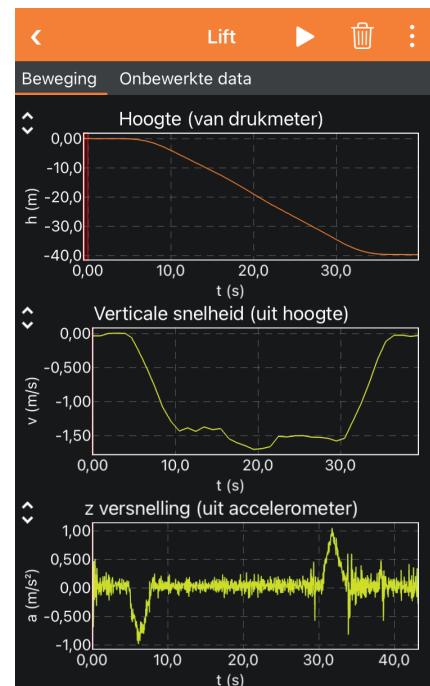
NB: Niet elke telefoon kan elke phyphox optie gebruiken, controleer dit van tevoren.

### Uitvoering

1. Start de demonstratie in de klas met de optie 'Druk' in de phyphox app. Run deze optie om live de druk te meten. Zorg dat de leerlingen de grafiek op je telefoon kunnen zien. Bijvoorbeeld door deze te streamen naar je digibord.
2. Houd de telefoon in je hand.
3. *Wat gebeurt er met de waargenomen druk als je de telefoon boven je hoofd houdt?*
4. *Wat gebeurt er met de waargenomen druk als je de telefoon op de grond legt?*
5. Vertel dat je een meting in een lift hebt gedaan met de phyphox app, waarbij de drukmeter van de telefoon gebruikt is om de hoogte vast te leggen. (Gebruik de figuur hiernaast.)
6. Leg uit welke grafieken je meet met de 'Lift' omgeving van de app.



Meting van de druk in phyphox, telefoon  
boven het hoofd en op de grond



Metingen in de dalende lift in de Eusebiuskerk  
in Arnhem

7. Vraag leerlingen om te schetsen hoe de grafieken van de hoogte tegen de tijd, de snelheid tegen tijd en de versnelling tegen tijd eruit zullen zien.
8. Toon de grafieken van je meting in de lift op het bord.
9. Laat de leerlingen de overeenkomsten met de grafieken omcirkelen en de afwijkingen benadrukken en verbeteren.
10. Leg uit dat de luchtdrukverandering over zo'n kleine hoogte bij benadering lineair gaat. (De luchtdruk is dus een maat voor de hoogte).
11. *Waarmee kun je de snelheid in de grafiek van de hoogte tegen de tijd bepalen? Leg uit waaraan je kunt zien dat de snelheid constant is.*
12. *Wat is de verklaring voor de vorm van de grafiek van de versnelling tegen de tijd?*
13. Controlevraag: *Schets de 3 grafieken van een stijgende of dalende lift. (Stijgend of dalend hangt natuurlijk af van de richting die je hebt gekozen in de eerste deel van deze demonstratie.)*

### Natuurkundige achtergrond

Meten in de klas: met de instelling 'Druk' is enkele tienden hPa drukverschil tussen telefoon 'op de grond' en 'boven je hoofd' prima te meten.

Metingen gedaan in de lift: de frequentie waarmee de drucksensor in een telefoon kan meten, hangt van het soort smartphone af. De optie 'Lift' berekent uit de druk een grafiek van de hoogte tegen tijd. Omdat de meetfrequentie van de drucksensor een stuk lager is dan de versnellingsmeter zie je een gefilterde grafiek. De versnellingssensor van de telefoon heeft door zijn hoge meetfrequentie wat meer ruis.

Bij het vertrekken van de lift is er even een niet-constante versnelling waarbij de snelheid van de lift toeneemt, en dan een tijdje constant is rond 1,5 m/s. (Bij hogere snelheden moet er om veiligheidsredenen een duurdere liftinstallatie gebouwd worden.) Bij het afremmen zie je dezelfde vorm in de grafiek van de versnelling tegen de tijd, met tegengesteld teken (zie de onderste grafiek).

### Tip

Gebruik eventueel de server optie van phyphox om de meting live in een browser te laten zien.

## WRIJVING EN NORMAALKRACHT

Leg een boek op de tafel en trek het over de tafel. Laat leerlingen het ook proberen.

Maak dan een stapel boeken (geleend van leerlingen) en trek weer. Het gaat veel moeilijker, je moet veel harder trekken of duwen. Wrijving heeft dus iets te maken met het gewicht van de boeken. Leerlingen kunnen op de eigen tafel meedoen, ze hebben vast veel boeken in hun tas. Als de normaalkracht al ter sprake is geweest, hoe groter die normaalkracht des te groter de wrijving (wrijving tussen boek 2 en 3 is:

$F = \mu N = \mu mg = \mu(m_1 + m_2)g$ . Zo'n formule kun je dus gemakkelijk even laten voelen!

## B18 KOKEN DOOR AFKOELEN



15 minuten

vanaf klas 2 vmbo/havo/vwo

Water laat je koken door het te verwarmen. Met deze demonstratie laat je het water echter koken door afkoelen! Je leerlingen zijn heel verbaasd.

### Nodig

Kolf 0,5 liter; thermometer; kurk of rubber dop met één gat voor de thermometer; driepoot; brander; klem; bekerglas met koud water; kookwanten.

### Voorbereiding

Opstelling maken, zie afbeelding

### Uitvoering

Vul de kolf voor  $\frac{3}{4}$  met water (voorverwarmd om tijd te winnen). Verwarm tot het water kookt en laat het even doorkoken. Desnoods even een glas koud water met een klem bij de opening van de kolf houden om te laten zien dat er waterdamp uit de kolf komt die condenseert. Tervijl je het water verwarmt: *Wat is koken? Is dat hetzelfde als verdampen? Wat is het verschil? Wat zie je tijdens het koken?*



*Opstelling*

Maak de klem vast. Zet de brander uit. Sluit de fles af met de dop + thermometer. Laat een leerling de temperatuur aflezen, die zal 98 à 100 °C zijn. Keer de kolf om en houd die onder de koudwaterkraan of giet er koud water op uit een bekerglas. Het is belangrijk om de verrassing van het koken na overgieten met koud water goed in te wrijven. *Wat gebeurt hier?* Bellen door de hele vloeistof, dat lijkt op koken! *Hoe kan dat, want ik heb de kolf net afgekoeld met koud water! En welke temperatuur meten we?* Observeer en laat een leerling weer de temperatuur aflezen.

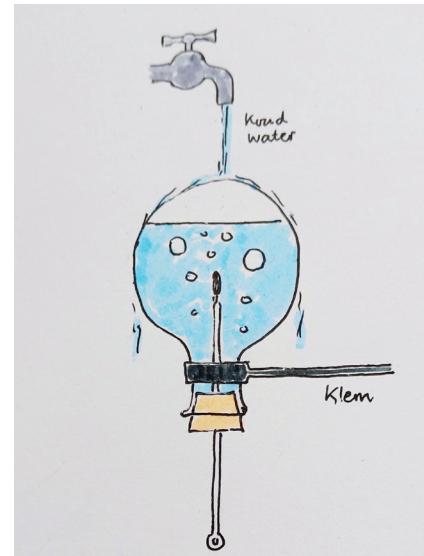
Controlevraag: *We hebben water van 70 °C in een gesloten vat. Het is niet aan de kook geweest. Met een pomp zuigen we lucht boven het water weg. Kan het water gaan koken? Licht het antwoord toe.*

### Natuurkundige achtergrond

Zowel bij verdampen als bij koken gaat vloeibaar water over in gasvorm. Bij verdampen gebeurt dat alleen aan het oppervlak en bij elke temperatuur. Bij koken gebeurt

dat overal in de vloeistof, vandaar de grote bellen. Onder het kookpunt kan ook vloeistof in gasvorm overgaan, maar potentiële bellen worden onmiddellijk platgedrukt door het omringende water. Pas bij het kookpunt is de druk voldoende om de druk van atmosfeer en water te weerstaan.

Wanneer de luchtdruk boven het wateroppervlak afneemt, zoals door de plotselinge condensatie van waterdamp in deze demonstratie, dan worden kookbellen minder gemakkelijk platgedrukt en kookt het water bij veel lagere temperatuur. In dit experiment wordt de lucht in de kolf verdrongen door waterdamp. We sluiten dan de fles snel af. Bij het overgieten met koud water condenseert die waterdamp en wordt de 'luchtdruk' in de kolf zeer laag, waardoor ook bij een veel lagere temperatuur kookbellen ontstaan.



Koken door afkoeling

### Tip

Vul de kolf met warm maar niet kokend water, zet hem onder een stulp van de vacuümpomp en pomp dan de lucht boven het water weg. Weer verrassend!

Piet Molenaar was een zeer bevlogen en enthousiaste natuurkunde docent met vrijwel elke les een bureau vol met opstellingen van experimenten en demonstraties. Deze proef was één van zijn favoriete demonstraties. Het lukte hem steeds om de leerlingen te verbazen.

### Bron

Liem Invitations to Science Inquiry, p 106

## B19 TEMPERATUREN OPTELLEN?



Intensieve versus extensieve grootheden



15-30 minuten



klas 2 - 4 vmbo/havo/vwo

Neem twee bekers water, elk met 200 ml water van 20 °C. Voeg de inhoud samen in één grote beker. Er zijn leerlingen die denken dat de eind temperatuur 40 °C of ietsje minder zal zijn. Op zo'n manier zou het dus makkelijk zijn water aan de kook te brengen. Voeg gewoon nog drie bekertjes water toe. Toch maar even demonstreren en tegelijk leerlingen onder de neus wrijven dat je bij natuurkunde altijd even dóór moet denken.

### Nodig

Twee bekerglazen van 250 ml; een bekerglas van 500 ml; twee thermometers; een elektrische waterkoker; beamer voor de controlevraag.

### Voorbereiding

Spullen klaarzetten.

### Uitvoering

Gebruik eerst de PowerPoint

(EB14TemperatuurIntensiefExtensief.pptx op de website) diagnostische toets om

leerlingen te vragen temperaturen te voorspellen van water dat je samenvoegt en water dat je splitst in verschillende glazen. Antwoorden kan digitaal met de telefoon, maar ook simpel door blind (ogen dicht om elkaar niet te beïnvloeden) het aantal vingers op te steken dat correspondeert met het gekozen antwoord (bv 1 voor A, 2 voor B, etc.), of gekleurde kaartjes opsteken.

Pas daarna volgt de demonstratie. Leerlingen zullen snel hun fout inzien. Desondanks is het goed even te oefenen met de absurde consequenties van het optellen van temperaturen. Bijvoorbeeld, 5 x 200 ml water van 20 °C zou 1 liter van 100 °C worden zonder dat je er energie in stopt. Energieprobleem opgelost! Laat leerlingen maar even bedenken wat voor consequenties er nog meer zouden zijn als je temperaturen inderdaad zou kunnen optellen? Kokende oceanen?

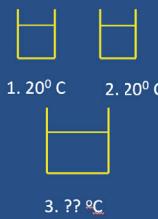
Welke natuurkundige grootheden kun je optellen (massa, volume, energie)? Dergelijke grootheden zijn afhankelijk van de hoeveelheid materiaal. Welke natuurkundige grootheden zijn niet afhankelijk van de hoeveelheid materiaal en kun je niet optellen? Temperatuur dus en dan alle materiaaleigenschappen zoals dichtheid, soortelijke weerstand, etc. want die worden altijd per vaste hoeveelheid materiaal gegeven, bv per kg of per m<sup>3</sup>. Warmte en energie zijn extensieve grootheden, temperatuur is een intensieve groothed. Warmte en temperatuur zijn dus niet hetzelfde.

Controlevraag. De staaf in de figuur is gemaakt van ijzer. We snijden de staaf in twee delen, het volume van deel X is 2x het volume van deel Y ( $V_x = 2V_y$ ). We vergelijken de dichtheid  $\rho$  van deel X met dat van deel Y.

### Temperatuur 1

Water van bekers 1 en 2 wordt bij elkaar gedaan in beker 3. Wat is de eindtemperatuur?

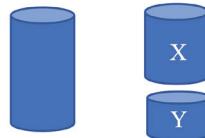
- A. 20 °C
- B. 30 °C
- C. 40 °C
- D. ietsje minder dan 40°C



Een simpele vraag ... of toch niet?

Welke uitspraak is correct?

- A.  $\rho_x = 2\rho_y$
- B.  $\rho_x = \rho_y$
- C.  $\rho_x = \frac{1}{2} \rho_y$



Soortgelijke vragen zijn te maken voor andere materiaaleigenschappen zoals soortelijke weerstand, soortelijke warmte.

### Didactische achtergrond

Nobelprijswinnaar Kahneman, in zijn *Thinking fast and thinking slow* (2011, p44) geeft veel voorbeelden van situaties waar zelfs geleerde mensen zoals rechters heel snel tot een fout antwoord komen. Hij veronderstelt een systeem 1 (snel) en een systeem 2 (langzaam) van beantwoorden van vragen. Systeem 1 in de hersenen gaat snel en oppervlakkig. In systeem 2 in de hersenen wordt meer doorgedacht. Dat systeem 2 is wat we nodig hebben om misconcepties te vermijden. Een beroemd voorbeeld uit het boek van Kahneman is de opgave: *Een baseball knuppel en bal kosten samen \$1,10. De knuppel kost 1 dollar meer dan de bal. Hoeveel kost de bal?* Het snelle populaire antwoord is 10 cent, maar het juiste antwoord is 5 cent.

### Bron

Kahneman, D. (2011). Thinking fast and thinking slow. Penguin.

## WRIJVING EN NORMAALKRACHT 2

Leg vier of vijf leerboeken op je hand en houd die op voor de klas. Houd de wijsvinger van de andere hand voor het bovenste boek. Als ik duw tegen boek #2 (van boven gerekend), gaan dan 2 boeken bewegen, 3, of meer? Laat leerlingen stemmen. Dan uitvoeren. De wrijvingskracht is evenredig met de normaalkracht en dus met het gewicht van de bovenliggende boeken. In de figuur is de wrijving van boek #4 op boek #3 groter dan die van boek #3 op boek #2, dus boek #3 schuift niet mee.



Wrijving en normaalkracht

## B20 PARALLAX VISUALISEREN



10 minuten

klas 1-6

Onze afstand tot sterren bepaal je met parallax. Een korte zin, maar zou iedereen dan direct weten hoe dat in zijn werk gaat? Toch maar even demonstreren dus!

### Nodig

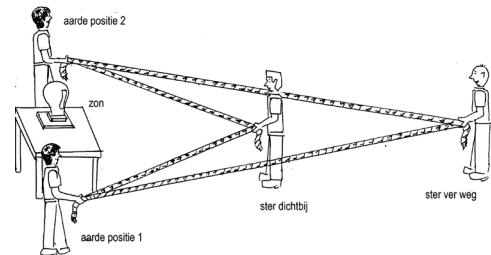
20 meter waslijn of ander touw; een lamp als zon; leerlingen.

### Voorbereiding

Geen

### Uitvoering

Zet de bureaulamp op een tafel voor de klas. Dat is de zon. *Ik ben de aarde en ik ga dus in één jaar 1x rond de zon.* De docent loopt in een cirkel om de tafel met bureaulamp. *Als ik hier ben in juni (positie 1) dan ben ik daar (positie 2) 6 maanden later in december.*



*De meting van afstanden met parallax*

Docent vraagt een leerling achterin om op te staan. Hij/zij is een ster. *Hoe kunnen we de afstand van de ster tot de zon of aarde bepalen? We vergelijken de kijkrichting vanaf de aarde naar de "ster" vanuit twee posities. In de figuur de posities 1 & 2 van de aarde, die 6 maanden verschillen. De hoek tussen die twee kijkrichtingen is de hoek in figuur 1 bij de personen. Hoe verder weg de ster, des te kleiner de hoek in kijkrichting.* Illustrer dit met de waslijn.

De gewone afstandsbeperking met onze ogen gaat ook met parallax. De docent zet een kruis op het bord. Alle leerlingen doen hun linkeroog dicht en richten hun duim op armsafstand precies in de richting van dat kruis. Dan het rechteroog dicht en het linker open. De duim verschuift want het andere oog ziet het kruis in een net iets andere richting.

Voor leerlingen voorin de klas zal de verschuiving groter zijn dan achterin de klas. Wat is de basis nu? De afstand tussen de ogen in plaats van de 2 posities van de aarde! Mensen met 1 werkend oog en 1 blind oog hebben niets aan deze manier van afstanden meten!

In hogere klassen kan gerekend worden en kunnen leerlingen zich verbazen over de zeer kleine hoeken die toch meetbaar zijn (zie achtergrond). Bijvoorbeeld, wat is de afstand tot een verre kerkoren.

Controlevragen:

1. *Wat is een belangrijke aanname bij dit soort meting van sterafstanden? [dat je de beweging van de ster kunt verwaarlozen].*

- 
2. *Waarom kan men afstanden tot de planeten niet op deze manier (met die 6 maanden apart) meten? [want de beweging van planeten kun je niet verwaarlozen over 6 maanden; wat je wel kunt doen is parallax meten vanaf twee plaatsen op aarde die ver van elkaar liggen]*
  3. *Kan de rotatie van de aarde invloed hebben op de meting? Rotatie zal invloed hebben op de richting waarin je een ster ziet, dus tijdmeting is belangrijk naast hoekmeting.*
  4. *Sterren staan heel ver weg. Hoe groot zijn de hoeken dan ongeveer?*

### Natuurkundige achtergrond

De Duitse sterrenkundige/wiskundige Friedrich Wilhelm Bessel was de eerste die in 1838 metingen deed om afstanden tot sterren te bepalen. Vanaf de aarde zijn verschillen tussen kijkrichtingen van 0,01 boogseconde nog net meetbaar. Vanuit satellieten boven de dampkring kun je het nog veel nauwkeuriger meten. 1 Boogseconde is 1/60 van een boogminuut en dat is 1/60 van een booggraad en daarvan zijn er 180 in een gestrekte hoek. De diameter van de zon is ongeveer 30 boogminuten evenals de gemiddelde diameter van de volle maan (die wat varieert doordat de afstand maan tot aarde varieert). Een boogseconde is dus 1/1800 van de geobserveerde diameter van de zon. De parallax  $p$  is de helft van de hoek tussen de kijkrichtingen en de afstand van een ster is  $d = 1/p$  met  $d$  in parsec en  $p$  in arcsec. 1 parsec correspondeert dus met een parallax van 1 arcsec en een afstand van 3,26 lichtjaar.

## B21 VLAMMEND NIEUWS



*De pyrolyse van een krant*



PO, onderbouw m/h/v (zowel natuur- als scheikunde)

Vuur is verrassend, spannend en spectaculair en basaal. Bij deze demonstratie is oefening vooraf belangrijk en het nemen van de juiste veiligheidsmaatregelen ook. Het gaat om zorgvuldig bespreken en verklaren van de waarnemingen.

### Nodig

Krant of inpakpapier; (lange) aansteker;  
zuurkast; emmer met een flinke bodem water.

### Voorbereiding

Een verduisterd lokaal zorgt voor betere zichtbaarheid. Veiligheid waarborg je als volgt:

- het lokaal heeft een brandblusser, branddeken, is geventileerd;
- draag een laboratoriumjas en veiligheidsbril, gebruik een zuurkast;
- zet een emmer met flinke laag water gereed.



*En een mooie steekvlam maar volg en bespreek de veiligheidsmaatregelen.*

Plak in overleg de rookmelders af om afgaan tijdens de proef te voorkomen.

Leerlingen met luchtweg- en ademhalingsproblemen ondervinden geen hinder bij deze demonstratie, maar overleg desondanks vooraf met hen.

Oefen (buiten) tot je de handelingen beheert. Probeer diverse soorten papier, sommige kranten branden slecht. Pas als de uitvoering je gemakkelijk afgaat kun je de verschijnselen goed met je leerlingen bespreken.

Waarschuw leerlingen deze proef niet zelf thuis te doen, hij lijkt eenvoudig maar is onveilig.

### Uitvoering

Steek het uiteinde van de krant aan, houd die schuin omlaag in de zuurkast, wacht op wat kleine vlammetjes. Merk dan op dat hij niet echt goed wil branden, en vraag wat we daaraan zouden kunnen doen. Stuur het gesprek naar de branddriehoek: meer brandstof (papier) kunnen we later testen, meer energie (nog een keer aansteken?) gaat niet, meer zuurstof? Blaas tegen het uiteinde – helpt niet echt. En als we nu eens door de koker heen blazen?

Dit is een goed moment om de veiligheidsmaatregelen te bespreken, en af te raden de proef thuis te doen. Adem dan in, zet je mond aan het niet-brandende uiteinde, en blaas. Er ontstaat met een doffe plonk een mooie steekvlam die vooral in het donker goed zichtbaar is (zie figuur). **Let op: adem in vóór je mond aan de krant zet, adem niet in door de brandende koker!**

Je kunt met dezelfde krant de proef een aantal keer herhalen, en de waarnemingen wat zorgvuldiger doornemen. *Je ziet het papier branden, maar zitten de vlammen daar wel*

echt aan vast? De vlammetjes zweven eigenlijk net boven het papier. Herken je dat van een brandende lucifer, kaars of kampvuur?

Volgens de theorie moet een vaste stof eerst overgaan in gas, en zie je pas een vlam als die gassen met zuurstof combineren bij verbranding. Past dat bij onze waarnemingen? Controlevragen. Een vaste stof kan niet kan verbranden maar moet eerst in gas overgaan. Geldt dat ook voor vloeistoffen? Geef een voorbeeld en leg uit op basis van je ervaringen.

Zoek op wat de term 'backdraft' betekent, en leg uit wat die met deze demonstratie te maken heeft.

### Natuurkundige achtergrond

Volgens de branddriehoek is voor verbranding brandstof, energie en zuurstof nodig. Bij het smeulen komen gassen vrij die zich in de holte van de opgerolde krant ophopen, waar er geen extra zuurstof bij kan. Bij het blazen zorg je voor snelle aanvoer van zuurstof waarbij de ontbrandende gassen naar buiten geduwd worden.

Bij zorgvuldig observeren, blijkt dat de vlammen niet aan het papier vast zitten maar er net boven 'dansen', het papier zelf smeult en gloeit en verandert in as. Dat zie je bij een brandende lucifer of kampvuur ook, en maakt aannemelijk dat een vaste stof eerst over moet gaan (ontleed wordt) in gasvorm voor verbranding: dat proces heet pyrolyse en is endotherm (vergt toevoer van energie). De gassen kunnen zich vervolgens met zuurstof verbinden in de exotherme verbrandingsreactie. Bij de opgerolde krant stellen we verbranding grotendeels uit, tot het blazen.

Mogelijk is ook te zien dat tijdens het blazen de vlammen van kleur veranderen, als gevolg van een hogere vlamtemperatuur of verbranding van inkt van de krant.

## VALLEN



Zet leerlingen op een rij met de hakken tegen de muur. Leen bankbiljetten en leg die voor de tenen van de leerlingen. Als ze die op kunnen rapen zonder te vallen, dan mogen ze het geld houden! Maar dat gaat niet lukken. Bij het voorover buigen komt het zwaartepunt voorbij de tenen en moeten leerlingen een stap vooruit doen om vallen te voorkomen.

## B22 SCHADUW VAN EEN VLAM



Visualiseren van warmtestroming



15-20 minuten



vanaf klas 2 m/h/v

Dit is een demonstratie die iedereen een keer gezien moet hebben omdat er zoveel mooie natuurkunde in zit. Afhankelijk van het doel, kun je verschillende aspecten benadrukken.

### Nodig

Waxinelichtjes; verduisterde ruimte; sterke lichtbron (bijvoorbeeld led op je telefoon); ijsje.

### Voorbereiding

Geen

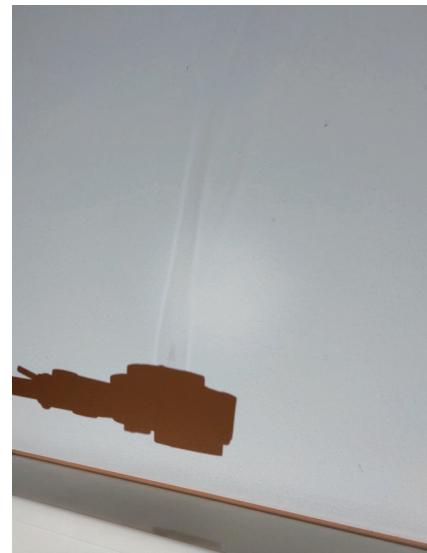
### Uitvoering

Begin deze demo met de draaiende spiraal (<https://www.nvon.nl/leswerk/proevenboek-51a-de-draaiende-spiraal>) en laat de leerlingen uitleggen wat er gebeurt. Die warmtestroming kun je ook zelf voelen. Houd je hand maar op verschillende plaatsen steeds even ver van de vlam. Je merkt vanzelf waar je de warmte het best voelt. Maak vervolgens de stroming ook echt zichtbaar door de ruimte te verduisteren en een felle lamp dicht bij de vlam te houden en de stroming te projecteren op de muur.

*Geef een verklaring waardoor de stroming zichtbaar is.*

Het is aardig om een ijsje aan een statief te bevestigen. Je voelt ook nu de stroming door je hand in de luchtstroming te houden.

*Welke richting heeft de stroming?*



*De dichtheidsstroom is zichtbaar.*

### Natuurkundige achtergrond

De vlam verwarmt de lucht. De dichtheid van de warme lucht is nu lager is dan die van de omgeving en daardoor stijgt deze op. Door het dichtheidsverschil in de lucht gaat licht door verschillende media en vindt er breking plaats. Dit is te zien als 'de schaduw van de vlam'.

De stroming die hier te zien is, is daar een voorbeeld van. Eerst is er een laminaire stroming, maar deze wordt op een bepaald punt turbulent. Wapper heel voorzichtig met je hand en je ziet dat de laminaire stroming direct turbulent wordt.

## B23 CONDENSATIEWARMTE IN INFRAROOD



10-30 minuten

bovenbouw

In deze demonstratie maak je op een eenvoudige wijze een proces op nanoschaal zichtbaar. Water in een beker heeft zelfs na uren verblijf in kamertemperatuur een lagere temperatuur door het continue verdampen van het water. We volgen de temperatuur van een vel papier als verdampt water erop condenseert. Met de gemeten temperatuurstijging maken we een schatting van het aantal (lagen) watermoleculen dat voor deze stijging nodig is.

### Nodig

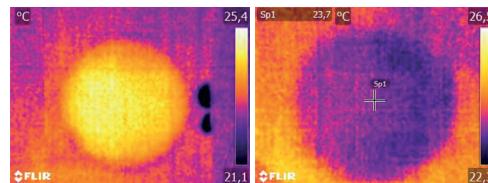
Infraroodcamera (Flir C5); (rond) schaaltje (bijvoorbeeld een petrischaaltje); een paar vellen (print-)papier.

### Voorbereiding

Plaats de infraroodcamera in een standaard zodat deze van boven op de opstelling gericht is. Plaats het schaaltje met water onder de camera. Zet de camera aan met streaming modus ingeschakeld en sluit hem aan op je computer. Open een camera app op de computer en laat deze het beeld van de infraroodcamera weergeven. Stel de afstand (op touchscreen) van de infraroodcamera op de juiste waarde in. Vul de emissiegraad van papier (+/- 0,70) in op de infraroodcamera.



FLIR C5 camera aangesloten op een computer.  
Ingeklemd in een statiefklem, loodrecht op het schaaltje onder het papier.



Links: het oppervlak van het papier waarop water is gecondenseerd, is duidelijk zichtbaar. Op de rand van het papier zie je twee waterdruppels, waar het water verdampft, wat een lagere temperatuur veroorzaakt.

Rechts: afkoelen van het papier na omdraaien.

### Uitvoering

Leerlingen hebben al kennis van molecuultheorie en faseovergangen.

1. Zet de opstelling klaar en leg de leerlingen uit wat ze zien. Vertel dat je het vel papier op het schaaltje water gaat leggen. De infraroodcamera kan de temperatuur meten.
2. Wat gebeurt er met de temperatuur van het papier boven het water?
  - A. blijft gelijk;
  - B. wordt lager;
  - C. wordt hoger.

3. Voer de meting uit. Lees de temperatuur van het papier boven het water uit en ook van het papier dat over en naast het schaaltje valt. Gebruik de beweegbare temperatuurspot op het touchscreen om de temperatuur van deze delen van het papier te meten.
4. Nu vertel je dat je het papier van het schaaltje haalt en snel omdraait. Meet de temperatuur van het onderoppervlak van het papiertje.
5. *Wat gebeurt er met de temperatuur van het deel van het papier dat zich boven het schaaltje met water bevond?*
  - A. blijft gelijk;
  - B. wordt lager;
  - C. wordt hoger.
6. Vertel over het condenseren en verdampen van water en hoe daar energie voor nodig is respectievelijk bij vrijkomt.
7. Controlevraag: *Waarom blaas je over een bord met soep om het af te laten koelen?*
8. Controlevraag: *Een plas van regenwater verdampt ook als het buiten geen honderd graden Celsius. Wat kun je vertellen over de temperatuur van de plas met water vergeleken met de omgevingstemperatuur?*
9. Voer de berekening van het aantal lagen watermoleculen op het papier uit. Zie natuurkundige achtergrond.

### Natuurkundige achtergrond

Deze demonstratie is uitvoerig beschreven door Xie & Hazzard (2011). Het stijgen van de temperatuur van het papier wordt veroorzaakt door de condensatie van waterdamp uit het schaaltje op de onderkant van het papier. Wanneer de watermoleculen in de damp condenseren, geven zij warmte af. De warmte geleidt door het dunne papier en zorgt voor een temperatuurstijging. De hoeveelheid watermoleculen die op het papier condenseert is zo klein dat je nauwelijks vocht voelt als je het papier aanraakt, maar het is genoeg om een temperatuurstijging te veroorzaken die door de ir-camera wordt gemeten.

Dit verwarmingsmechanisme kan worden bevestigd door het papier een minuut boven de beker te laten, totdat het een thermisch evenwicht met de omgeving heeft bereikt en het papier dan te verwijderen. Ir-beelden van het papier tonen aan dat de temperatuur van de oorspronkelijk verwarmde cirkelvormige zone onmiddellijk na de verwijdering daalt tot onder de omgevingstemperatuur. Dit kan verklaren doordat de watermoleculen die aan de onderkant van het papier gecondenseerd waren, beginnen te verdampen, wat resulteert in een snelle afkoeling van het papier.

De op het papier gecondenseerde watermoleculen zijn kennelijk niet in staat zijn om door het papier heen te dringen, anders zou je aan de andere zijde van het papier verdampingsafkoeling hebben waargenomen met de infraroodcamera.

*Hoe dik was de gecondenseerde waterlaag ongeveer?*

Voor onze proef met een schaaltje met een diameter van 10,5 cm hebben we het volgende gemeten en opgezocht:

$$\Delta T \approx 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}, \rho_{\text{papier}} = 80 \text{ g/m}^2, c_{\text{papier}} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}, L_{\text{water}} = 2,26 \cdot 10^3 \text{ J/g}, M_{\text{water}} = 18 \text{ g/mol}$$

De energie die op het papier wordt afgegeven is:

$$\Delta Q = \rho_{\text{papier}} \cdot A_{\text{papier}} \cdot c_{\text{papier}} \cdot \Delta T = 80 \times \pi \times 0,0525^2 \times 1,4 \times 1,0 = 0,97 \text{ J}$$

De massa van het water dat op het papier is gecondenseerd:

$$m = \frac{\Delta Q}{L_{\text{water}}} = \frac{0,97 \text{ J}}{2,26 \cdot 10^3 \text{ J/g}} = 4,29 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

Bij kamertemperatuur heeft 1 g water een volume van  $1 \text{ cm}^3$ . Voor het cirkelvormige deel van het papier betekent dit, dat een watervolume van  $4,29 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3$  over een cilindervormig oppervlak van het papier wordt verdeeld.

De hoogte ( $h$ ) van deze cilinder met water is dan:

$$h = \frac{V}{A} = \frac{4,29 \cdot 10^{-4}}{\pi \times 5,25^2} = 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$$

De waterlaag aan de onderzijde van het papier is dus ongeveer 50 nm dik.

Het gemiddelde volume van een watermolecuul schatten we met de molaire massa die we schrijven als een soort 'molaire dichtheid' ( $M_V = 18 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ) en het aantal moleculen in een mol ( $N_A$ ). Met dit volume berekenen we de één dimensionale afmeting van een watermolecuul:

$$h_{\text{molecuul water}} = \sqrt[3]{\frac{M_V}{N_A}} = \sqrt[3]{\frac{18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{6,02 \cdot 10^{23}}} = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Het aantal lagen ( $n$ ) watermoleculen is dan uit te rekenen met:

$$n = \frac{h_{\text{cilinder}}}{h_{\text{watermolecuul}}} = \frac{4,95 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{3,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 159$$

Als je bedenkt dat niet alle warmte in één keer vrijkomt, is de snelheid van waterdampdepositie waarschijnlijk een paar nanometer per seconde. We bestuderen dus een proces op nanoschaal.

### Tips

Plaats de opstelling goed zichtbaar op het bureau. Projecteer de meting via de computer op een scherm of digibord. Zorg dat de temperatuur goed te volgen is door bijvoorbeeld een temperatuurspot van de camera op de te meten plek te richten.

Een waterdruppel op de rand van het papier zal ook goed te zien met een lagere temperatuur als gevolg van verdamping (zie in de tweede figuur links).

Als je na een paar uur de opstelling opnieuw bekijkt heeft het papiertje juist een lagere temperatuur. Papier is poreus en de watermoleculen verdampen dan weer aan het oppervlak van het papiertje. Houd het papiertje ook eens verticaal boven het schaaltje.

### Bronnen

Xie, C & Hazzard, E. (2011) *Infrared imaging for inquiry based learning*, The Physics teacher Vol. 49 September 2011

Xie, C (2012) <http://molecularworkbench.blogspot.com/2012/10/think-molecularly-infrared-imaging.html>, 20-08-2012. Geraadpleegd januari 2023

## B24 AFKOELEN METALEN BOLLEN



20-30 minuten

bovenbouw

Om leerlingen het proces van afkoelen van vaste voorwerpen te laten ervaren, kijken we naar het afkoelen van ijzeren bollen met verschillende diameter met behulp van een FLIR camera (C5). Duidelijk is te zien dat de kleinste bol sneller afkoelt dan de grotere bollen. Een experiment dat ook in de 18<sup>e</sup> eeuw is gedaan door George-Louis Leclerc om de leeftijd van de aarde te bepalen.

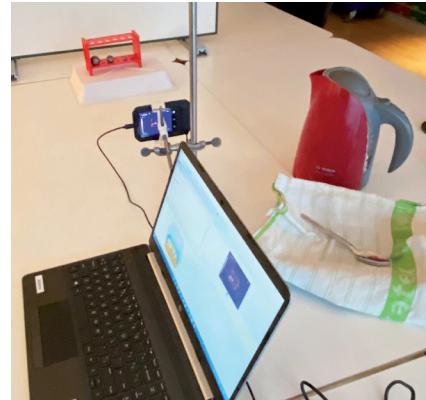
### Nodig

Opstelling met statief en klem of een fototoestel statief; ir-camera; niet-geleidende constructie om de metalen bollen op te leggen (plastic reageerbuisrek); aantal metalen bollen (van hetzelfde materiaal) die in diameter van elkaar verschillen; waterkoker; pollepel en theedoek. Deze beschrijving maakt gebruik van Coach 7 als meetprogramma. Het benodigde Coach 7 bestand staat op de website.

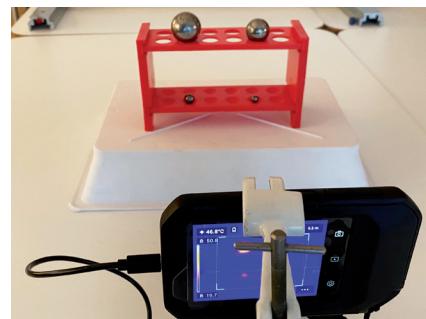
### Voorbereiding

Maak een meetopstelling zoals in de figuren. Stel de ir-camera in op zowel de juiste ir-afstand als visuele afstand. Stel een meting met een meetspot in of desgewenst een meting met een 'heetste spot rechthoek' (sleep deze op het touchscreen naar de gewenste grootte). Stel de emissiviteit in op rond 0,95 (voor ijzer), zoek de waarde van deze emissiviteit op voor andere metalen als je bollen van ander materiaal gebruikt.

Bij gebruik van Coach 7 stel je 'meten met een gesynchroniseerde weergave' in. Je kunt de opstelling ook filmen met iedere willekeurige camera-app op je device, kies dan de FLIR C5 als camera.



*De opstelling met een plastic reageerbuisrek om de ballen op te leggen*



*De beste resultaten krijg je als de bollen dicht bij de camera liggen.*

### Uitvoering

1. Toon de bollen aan de leerlingen en geef ze de diameters van de bollen. Laat ze de massa uitrekenen met de dichtheid van het materiaal.
2. Laat de leerlingen uitrekenen hoeveel thermische energie een bol bezit als deze opwarmt van kamertemperatuur naar een bepaalde temperatuur (bijvoorbeeld 60°C). Ze zoeken de soortelijke warmte van het materiaal op in Binas.

3. Is de temperatuur van bollen bij de start van de proef gelijk of verschillend?
4. Wat verwacht je dat er gaat gebeuren?
  - A. De grootste bol zal het snelste afkoelen.
  - B. De kleinste bol zal het snelste afkoelen.
  - C. Afkoelen gaat bij beide bollen even snel.

Laat ze bij voorkeur hun keuze opschrijven en er een uitleg bij bedenken.
5. Kook wat water in de waterkoker, houd het deksel van de waterkoker open en plaats de bollen in een pollepel in de waterkoker. Wacht even tot de metalen bollen opgewarmd zijn. Neem de pollepel uit de waterkoker en leg ze op een theedoek, de bollen maak je hier snel droog. Leg de bollen daarna op de gewenste plek in je meetconstructie.
6. Voer de meting uit. Plaats de bollen na opwarmen in de kokend water snel in de opstelling. Start de meting met de FLIR IR camera.
7. Bespreek de resultaten. Welke uitleg past daar het best bij?
8. Eventueel: Vertel over George-Louis Leclerc en zijn bepaling van de leeftijd van de aarde
9. Controlevraag: Kun je met deze methode de leeftijd van de aarde bepalen?



Screenshot van de meting van de FLIR C5. Het temperatuurbereik is handmatig ingesteld.

### Natuurkundige achtergrond

Een kleinere bol heeft een relatief groter oppervlak waardoor de bol energie aan de omgeving kan afstaan ( $A/V = 3/r$  voor een bol). Een kleinere straal zal een sneller energieverlies aan de omgeving tot gevolg hebben. Uitgebreidere uitleg: zie website.

### Tips

- Projecteer de meting via de computer op een scherm of digibord. Zorg dat de temperatuur goed te volgen is. Door bijvoorbeeld een temperatuurspot van de camera op een bol te richten. De FLIR C5 camera is ook in een handmatig temperatuurbereik in te stellen, zodat de kamertemperatuur niet zichtbaar is (zie middelste afbeelding hierboven).
- Plaats de bollen op een oppervlak van bijvoorbeeld repen chocolade, zodat na afloop de hoeveelheid thermische energie per bol zichtbaar is door de hoeveelheid chocolade die is gesmolten.
- Plaats de bollen in een oven om een hogere temperatuur te bereiken. Let dan extra op met het hanteren van de bollen.

### Verder onderzoek

Gebruik een temperatuursensor die je vastmaakt aan de grote en een iets kleinere bol, doe de meting in Coach 7. Hoe zinnig is de meting zo? Hoe snel koelen beiden af? Welke invloed heeft de temperatuursensor zelf? De sensor moet ook opwarmen, bij een te kleine bol zal dat veel thermische energie van de bol kosten en dus zal deze nog sneller afkoelen.

## B25 EEN BALLOON DIE ALLES KAN



Zinkende, zwevende en drijvende ballon



10 minuten



klas 3

Leerlingen leren in de tweede klas over dichtheid. Zinken en drijven zijn verschijnselen die zij ervaren hebben. Zweven hebben zij vaak niet bewust gezien. Deze demonstratie laat alle drie de verschijnselen zien.

### Nodig

Aquariumbak (groot); ballonnen; warm (ongeveer 35 °C) en koud water.

### Voorbereiding

Giet warm water in het aquarium. Vul een ballon met koud water en een klein beetje lucht en knoop hem dicht. Voor een beter resultaat kun je het tuitje er nog afknippen.

### Uitvoering

Deze demonstratie kun je beginnen met gesprekje over zinken en drijven. *Wat zorgt ervoor dat iets blijft drijven of juist zinkt?* Dan komt het begrip dichtheid ter sprake. *Wat gebeurt er als een voorwerp dezelfde dichtheid heeft als de vloeistof?* Zweven.

Drie mogelijkheden dus. Dit kunnen leerlingen goed zelf bedenken. Dan over naar de demonstratie.

1. Vertel wat je gaat doen (zie stap 2 en 3) en laat leerlingen noteren wat ze denken dat er met de ballon gaat gebeuren: zinken, drijven, zweven (of iets anders?). Plaats de ballon gevuld met koud water in de bak met warm water.
2. Wacht geduldig tot dat de ballon gaat zweven en na een paar minuten zal hij uiteindelijk gaan drijven.  
Je kunt elk van de drie verschijnselen laten verklaren door een leerling die in de voorspelling daarvoor gekozen heeft.
3. *Waardoor zinkt de ballon eerst?*
4. *Wanneer gaat de ballon zweven?*
5. *Waardoor gaat de ballon uiteindelijk drijven?*
6. Controlevraag: *Wat kun je zeggen over de (gemiddelde) temperatuur van het water in de ballon als hij zweeft?*
  - A. Die is hoger dan de temperatuur van het water om de ballon.
  - B. Die is ongeveer gelijk aan de temperatuur van het water om de ballon.
  - C. Die is lager dan de temperatuur van het water om de ballon.



*De ballon is bezig aan zijn weg naar boven en zweeft een tijdje in het warme water.*

### Natuurkundige achtergrond

De ballon gevuld met koud water heeft een gemiddelde dichtheid die groter is dan de dichtheid van warm water en zal dus zinken. Het water in de ballon warmt langzaam op. De waterballon zal een tijdje precies de gemiddelde dichtheid van het warme water hebben. Dan zweeft de ballon. Als het water in de ballon nog verder in temperatuur stijgt neemt de gemiddelde dichtheid af en gaat de ballon drijven.

### Tips

- Om het proces langer te laten duren kun je wat ijs in de ballon doen of de ballon met water een tijdje in een koelkast of vriesvak leggen. (NB: het water in de ballon mag niet bevoren zijn, dan werkt de demonstratie niet.) Zo kun je de ballon met water ook hergebruiken in een parallelklas.
- Knip je het tuitje van de ballon af, dan zal de ballon zich wat mooier op de bodem nestelen.

## DRUK EN OPPERVLAK



Neem een potlood. Druk eerst de scherpe punt (klein oppervlak) op je hand dus grote druk. Druk daarna met ongeveer dezelfde kracht met de achterkant van het potlood (groot oppervlak) op je hand. Dit laat duidelijk het verschil tussen druk en kracht zien. Leerlingen kunnen meedoen met hun eigen potlood of pen om het zelf te voelen.

## B26 DE BOL VAN 'S GRAVESANDERS

Een bekende proef op een andere manier



5 minuten



onderbouw



De proef met de bol van 's Gravesande is welbekend en elke leerling zal deze wel eens gezien hebben. Eigenlijk is de uitkomst voor de leerlingen vóór de proef al bekend. Als je als docent laat zien dat de koude bol past, dan is het voor leerlingen niet moeilijk om te bedenken dat de hete bol daarna wel niet zal passen. Vandaar dat deze demonstratie na de uitvoering van de bekende variant de leerlingen nog eens laat nadenken. Wat gebeurt als ik de ring ga verwarmen?

### Nodig

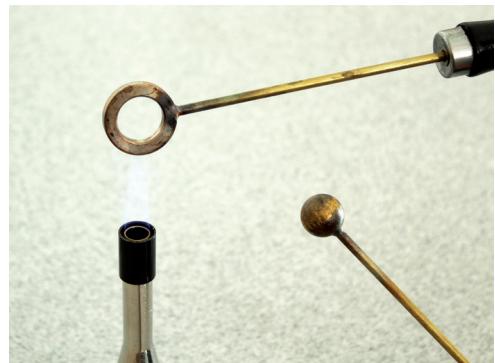
Bol en ring van 's Gravesande; statief; gasbrander; ijskoud water.

### Voorbereiding

Zet de ring vast in het statief. Zorg dat gasbrander op de gele waakvlam staat.

### Uitvoering

1. Voer de demonstratie uit met het verhitten van de bol.
2. *Voorspel wat er zal gebeuren als je de verhitte bol weer op de ring legt.*
3. Koel de bol en ring weer af. Laat zien dat de bol weer past.
4. *Voorspel wat er gaat gebeuren als je bol niet verhit en de ring wel. Wijs er expliciet op dat de vraag is, of bij het uitzetten van de ring de binnenkant groter wordt, of juist kleiner.*
5. Verhit de ring en beweeg de bol door de ring.
6. *Geef een uitleg waarin je het molecuulmodel gebruikt om deze demonstratie te verklaren.*
7. Teken de ring op het bord en leg uit waarom de ring niet naar binnen uitzet.
8. Plaats de ring in ijskoud water.
9. *Voorspel wat er zal gebeuren als je de bol op de ring plaatst.*
10. Voer de proef uit.
11. *Wat zou gebeuren als je en de ring en de bol tegelijk verhit? Wat zou de uitkomst van de proef dan zijn? Kunnen ze dit verklaren met het molecuulmodel?*
12. *Controlevraag 1: Een gietijzeren staaf van 1 m lang wordt 9 µm langer als je de temperatuur met 1 °C verhoogt. Bij een zinken staaf is dat 29 µm. Leg uit van welk metaal jij de opstelling van deze demonstratie zou maken, als je tussen deze twee moet kiezen.*

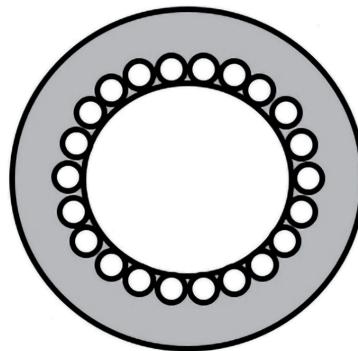


*Zeer bekende proef: de benodigde spullen zullen op elke school wel te vinden zijn.*

13. Controlevraag 2: *Een vloeistofthermometer benut het feit dat glas vrijwel niet uitzet als de temperatuur hoger wordt, maar de gebruikte vloeistof wel. Teken zo'n thermometer en leg uit hoe die werkt.*
14. Controlevraag 3: *De allereerste vloeistofthermometers werden niet van glas maar van metaal gemaakt, maar die deden het niet goed. Wat was het probleem, denk je? (De vloeistofspiegels daalden als de temperatuur steeg, omdat het metaal meer uitzette dan de vloeistof.)*

### Natuurkundige achtergrond

De deeltjes in de ring gaan bij verhitting sneller bewegen en hebben daardoor meer ruimte nodig. De ring kan echter niet naar binnen uitzetten, want dan zou er juist minder ruimte zijn voor de deeltjes. De ring kan dus alleen maar naar buiten uitzetten. Om het verschijnsel uit te leggen kun je de ring tekenen met bolletjes die de deeltjes van de ring voorstellen. Bij afkoelen kan de ring wel naar binnen, want dan bewegen de deeltjes minder snel.



*De bolletjes stellen de deeltjes in de binnenrand van de ring voor. De ring kan dus niet naar binnen uitzetten, omdat de deeltjes sneller bewegen en dus meer ruimte nodig hebben. Bij het naar binnen uitzetten verliest je juist ruimte.*

## CONTRAST, TEGENLICHT, PUPIL



Doe het licht in het lokaal uit, ga voor het raam staan met het gezicht naar de leerlingen. Ga vervolgens tegen de tegenoverliggende muur staan met het gezicht naar het raam. Wat voor verschillen zien de leerlingen? Waar worden die door veroorzaakt? In de eerste situatie kijken de leerlingen naar het gezicht met helder 'tegenlicht' van buiten. De pupillen worden klein. Het gezicht wordt slecht verlicht en de intensiteit van lichtstralen die door het gezicht in de richting van de ogen van leerlingen worden gekeert is veel kleiner dan de intensiteit van buiten. Het gezicht wordt dan gezien als een donkere vlek. In de tweede positie zijn de intensiteiten van lichtstralen weerkaatst door het gezicht en weerkaatst door de achtergrond (de muur) vrijwel gelijk en daardoor is het gezicht goed zichtbaar. Je kunt nog wat experimenteren met omgevingslicht, bijvoorbeeld gordijnen dicht en open, enzovoorts.

## B27 STAANDE GOLF MET EEN ELEKTRISCHE TANDENBORSTEL



20-40 minuten

vanaf klas 5

Als je aan het uiteinde van een gespannen koord een trilling aanbiedt, kan er onder bepaalde voorwaarden een staande golf in het koord ontstaan. De frequentie van de trilling, de golfsnelheid van de ontstane golf in het koord en de lengte van het koord moeten dan in de juiste verhoudingen met elkaar zijn. In het standaardexperiment in de klas varieer je dan vaak de frequentie. Maar wat nu als je de frequentie constant houdt en de golfsnelheid in en de lengte van het koord als variabelen neemt? Als trillingsbron gebruiken we een elektrische tandenborstel.

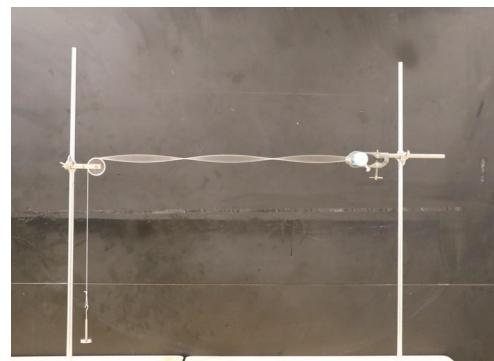
### Nodig

Elektrische tandenborstel; koord of elastiek; katrol; massablokjes; rolmaat; nauwkeurige weegschaal; statiefmateriaal.

### Voorbereiding

Bouw de opstelling zoals weergegeven in de afbeelding. Een elektrische tandenborstel is in een statief geklemd en is er een elastiek aan vast geknoopt. Het andere uiteinde is over een katrol gelegd en er zijn één of meer massablokjes aan bevestigd.

Varieer de lengte van het elastiek zodat je een goede staande golf krijgt.  
Bepaal de lineaire massadichtheid van het elastiek.



De opstelling

### Uitvoering

1. Laat de leerlingen het aantal halve golflengten dat te zien is in het elastiek tellen en laat hen vervolgens met behulp van de lengte van het koord de golflengte berekenen.
2. Pas de spankracht in het elastiek aan door meer (of minder) gewichtjes aan het uiteinde te bevestigen. Test vervolgens weer uit met de lengte van het elastiek zodat er weer een goed zichtbare staande golf ontstaat. Laat de leerlingen opnieuw de golflengte bepalen.
3. Herhaal de vorige handeling een aantal maal totdat er bijvoorbeeld vijf metingen (golflengte en massa) beschikbaar zijn.
4. Laat de leerlingen een grafiek tekenen waarin de golflengte staat uitgezet tegen de spankracht in het elastiek. De leerlingen zullen zien dat er geen sprake is van een recht evenredig verband.
5. *Welke grootheden moet je tegen elkaar uitzetten om wel een recht evenredig verband te krijgen?*
6. Laat de leerlingen vervolgens een grafiek tekenen waarin het kwadraat van de

golfelengte staat uitgezet tegen de spankracht in het elastiek. Nu is er wel sprake van een recht evenredig verband.

7. Bereken de lineaire massadichtheid van het elastiek berekenen. Of geef die.
8. Bepaal de frequentie van de elektrische tandenborstel uit de steilheid van het verkregen recht evenredige verband.
9. Controlevraag: Schets het  $(\lambda^2, F)$ -diagram dat hoort bij een elastiek met een grotere lineaire massadichtheid.

### Natuurkundige achtergrond

Voor staande golven geldt de formule:  $v = f \cdot \lambda$ .

In deze formule staat  $v$  voor de golfsnelheid (in m/s),  $\lambda$  voor de golfelengte (in m) en  $f$  voor de frequentie (in Hz). De golfsnelheid in een gespannen koord kun je ook berekenen met behulp van de volgende formule:

$$v = \sqrt{\frac{F_s}{\rho_L}}$$

In deze formule staat  $v$  weer voor de golfsnelheid (in m/s),  $F_s$  voor de spankracht in het koord (in N) en  $\rho_L$  voor de lineaire massadichtheid van het koord (in kg/m). De lineaire massadichtheid kun je bepalen door de massa van het koord te delen door de lengte van het koord. Beide formules kunnen aan elkaar gelijk worden gesteld. Dit levert op:

$$\sqrt{\frac{F_s}{\rho_L}} = \lambda f$$

De variabelen in het experiment zijn de golfelengte en de spankracht in het koord.

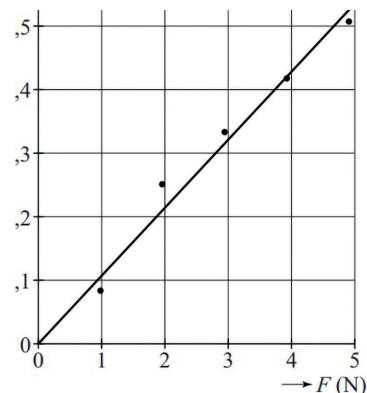
Als we deze twee grootheden aan elkaar relateren binnen dit experiment, kun je de bovenstaande relatie ook als volgt noteren:

$$\lambda^2 = \frac{F_s}{\rho_L f^2}$$

Door in een diagram de golfelengte in het kwadraat uit te zetten tegen de spankracht in het koord ontstaat een recht evenredig verband. De steilheid van de grafiek is gelijk aan

$$\frac{1}{\rho_L f^2}$$

en hieruit kun je dan de frequentie berekenen. Een voorbeeld van een grafiek is weergegeven in de figuur hiernaast.



De golfelengte in het kwadraat uitgezet tegen de spankracht in het koord.

## Tips

- De uitvoering van het experiment vergt wat handigheid, waarvoor een goede voorbereiding noodzakelijk is. Zorg dat je een set meetresultaten achter de hand hebt voor het geval het verkrijgen van de staande golf in een bepaalde situatie niet zoepel verloopt.
- De beste resultaten van de staande golf ontstaan als de opstelling op een stabiele ondergrond staat, bijvoorbeeld een demonstratietafel.
- Het zoeken naar een recht evenredig verband is een werkwijze die binnen de natuurkunde gebruikelijk is. Voor leerlingen is dit echter niet eenvoudig. Laat hen eerst laten ervaren dat het direct uitzetten van de variabelen tegen elkaar geen recht evenredig verband oplevert. Dat maakt de relevantie van de coördinatentransformatie helder maken. Laat de leerlingen eerst zelf nadenken over de noodzakelijke coördinatentransformatie.
- Het is zaak dat de leerlingen het experiment actief volgen en de verkregen meetresultaten zelf verwerken. Op die manier ontstaat er een bepaalde mate van vaardigheid. Het verwerken van meetresultaten, het tekenen van grafieken en het komen tot een set data voor een recht evenredig verband zijn dan de leerdoelen.
- In het vwo-examen van 2018 (eerste tijdvak) is dit experiment als context gebruikt.

## Verder onderzoek

Het gebruik van een ander elastiek (met een andere lineaire massadichtheid) of een ander model of merk elektrische tandenborstel kan inspiratie bieden tot verder onderzoek.

## HEFBOOM

Meestal is er wel een meetlat in de buurt. Steek een uiteinde onder een stapeltje boeken en trek het andere uiteinde omhoog. Met veel kleinere kracht maar over grotere afstand kun je de boeken optillen. Leerlingen kunnen dit zelf ook voelen met hun liniaal of zelfs een balpen onder een stapeltje boeken uit hun tas.



Hefboom

## B28 HET OOG OP TAFEL

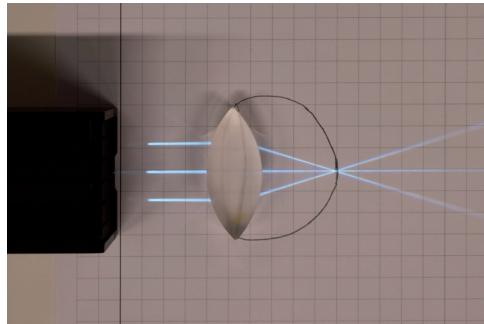


*Optica van het oog*

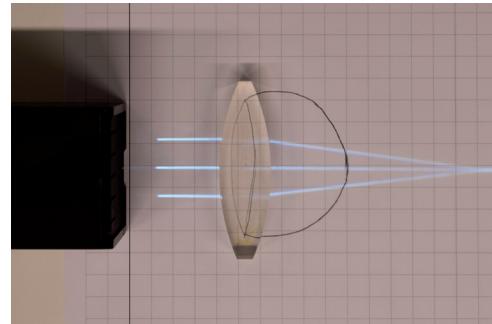
20 minuten

klas 3 en hoger

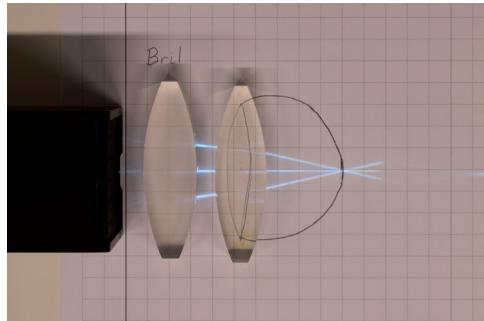
De koppeling van de theorie over lenzen en zien is lastig. Daarom bouwen de leerlingen onder begeleiding een model van het oog (althans lens en netvlies) op hun tafel. Ze verbinden zo de theoretische achtergrond over het oog met observaties aan het model. Ze voeren allerlei korte opdrachten uit en de docent doet daarna dezelfde opdrachten telkens vóór op het bord, waardoor er sprake is van snelle feedback.



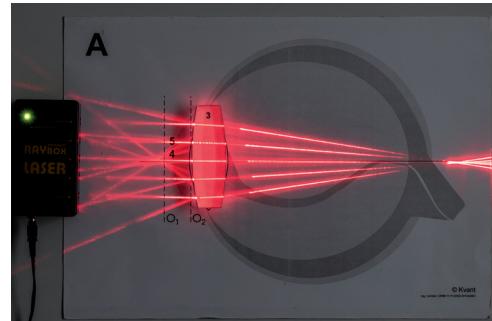
Model van een gezond, ongeaccommodeerd oog



Een ongeaccommodeerd, verziend oog, gemaakt door de lens te vervangen



Een gecorrigeerd, verziend oog, nog steeds ongeaccommodeerd



Een ongeaccommodeerd, verziend oog gemaakt met de demonstratieset

### Nodig

Lichtkastjes met lichtbundeltjes en een set bijbehorende lenzen van verschillende sterktes; demonstratie-lenzenset voor de docent.

### Voorbereiding

Een degelijke oriëntatie op de mogelijkheden van het beschikbare materiaal is belangrijk, zodat je als docent goed weet welke opdrachten je wel en niet kunt geven.

Daarbij is het ook van belang dat je weet welke lens je waarvoor gebruikt. Het mooist is als je drie verschillende positieve lenzen hebt, zodat je zowel een gezond oog (middelste lens qua sterkte), een bijziend oog (sterkste lens) en een verziend oog (minst sterke lens) kunt maken.

### **Uitvoering**

Het is belangrijk om de leerlingen te vertellen wat het doel van de serie activiteiten is: het maken van een eenvoudig model van het oog om oogafwijkingen als bijziendheid en verziendheid te kunnen begrijpen. Dat gaan de leerlingen onder begeleiding doen. Ze beginnen met het instellen van de lichtkastjes zodat er een aantal evenwijdige lichtbundeltjes zichtbaar zijn. De volgende stap is om daar een positieve lens in te plaatsen zodat je een duidelijk brandpunt ziet. *Markeer de plaats van de lens met potlood en teken de oogbol voor een normaal oog (eerste figuur).* Deze stappen zet de docent ook op het bord met het demonstratiemateriaal, zie vierde figuur. Dit levert een eenvoudig model van een normaal oog op. Interessante vragen om het heen-en-weer-denken te stimuleren zijn. *Op welke afstand zal een oog in deze toestand scherp kunnen zien? Wat betekent dat voor de staat (geaccomodeerd/ongeaccomodeerd) waarin het oog nu is?*

Afhankelijk van het beschikbare materiaal, kun je nu aan de slag gaan met een bijziend of verziend oog en dat kan in de vorm van een opdracht. *Vervang de lens zodat je een bijziend/verziend oog krijgt.* De leerlingen moeten weer heen-en-weer-denken om de juiste lens te selecteren. Zelf controleren of ze dat juist hebben gedaan, vraagt opnieuw denkwerk. De tweede figuur laat een verziend oog zien. Als het model van het oog met afwijking eenmaal is gemaakt, dan kun je de leerlingen ook laten nadenken en vervolgens laten proberen wat voor bril nodig is om de afwijking te corrigeren. Als je de bril weer weg laait halen, kun je vragen of er nog een andere manier is waarop de betreffende oogafwijking kan ontstaan, uitgaande van de lens van een gezond oog. De ervaring leert dat in de bovenbouw een aantal leerlingen zal vinden dat ook een afwijking van de afmeting van de oogbol tot oogafwijkingen kan leiden. Ook al deze stappen komen stap voor stap op het bord met het demomateriaal.

Accommoderen is helaas iets lastiger om te laten zien. Je moet daarvoor een divergerende bundel maken, ofwel met een negatieve lens, ofwel met twee lichtkastjes. Dat extra materiaal leidt echter nogal af. Als dat wel gelukt is, dan kun je wel weer eenvoudig laten zien dat er nu een sterkere positieve lens nodig is om het beeld weer op het netvlies te krijgen.

De meerwaarde van deze activiteit met echte lichtbundeltjes en lenzen is tweeledig:

- De leerlingen moeten zelf kiezen welke lens ze nodig hebben en kunnen daardoor heel makkelijk sterkere lens aan bollere lens en aan het effect ervan in de context van het oog, koppelen.
- De leerlingen manipuleren echte lichtbundeltjes met echte lenzen en het zijn de fysische eigenschappen van de lenzen die bepalen op welke afstand het netvlies getekend moet worden. Dat levert veel meer heen-en-weer-denken op dan schematische tekeningen met lenzen en lichtstralen als streepjes. Er is nu sprake van een hands-on-aspect.
- Doordat alle opdrachten tot een visueel effect leiden, is het voor de docent relatief eenvoudig om te zien welke fouten leerlingen maken. Steeds rondlopen, goed

kijken en luisteren naar gesprekken, biedt inhoud voor de snelle feedback en nabespreking.

### Natuurkundige achtergrond

Dit spreekt voor zich.

### Tips

- Het steeds geven van korte opdrachten die direct worden nabesproken, is waardevol. Dezelfde activiteit met een uitgebreid werkblad zal slechter werken.
- De nadruk op een oog ingesteld op in de verte zien en de bijbehorende evenwijdige lichtbundel kan het misconcept versterken dat alles uit de verte op één plek wordt afgebeeld. Dat kun je enigszins ondervangen door met het demomateriaal ook een evenwijdige bundel onder een kleine hoek met de hoofdas te laten vallen.

## KRACHTMOMENT 1



Neem een tas met boeken van een leerling. Houd de tas op armlengte en houd de tas vervolgens naast je lichaam. Welke positie is het gemakkelijkst? Het krachtmoment, het vectorproduct van kracht en arm, is het grootst op armlengte.

## B29 SCHOENENDOOSBEAMER



10-20 minuten

vanaf klas 3

Beeldvorming bij lenzen is een best ingewikkeld onderwerp. Dat het licht afkomstig van een (lichtgevend) voorwerp door de lens gebroken wordt, maar aan de achterzijde weer samenkomen is lastig te begrijpen. In deze demonstratie onderzoek je de beeldvorming bij een positieve lens met eenvoudige middelen.

### Nodig

Schoenendoos; mobiele telefoon; (grote) positieve lens; stuk karton; schaar; plakband; witte muur of scherm.

### Voorbereiding

Snijd een gat, ongeveer ter grootte van de lens, in de voorkant van de schoenendoos. Plak de lens stevig tegen de binnenzijde van de schoenendoos ter plaatse van het gat. Zie onderste afbeelding.

Plaats in de schoenendoos een mobiele telefoon. De meeste telefoons zullen daarbij niet vanzelf rechtop blijven staan, maar dat kun je oplossen door van karton een eenvoudige telefoonhouder te maken (zie onderste afbeelding). Als je de doos sluit, kun je het beeld van het telefoonscherm projecteren op een witte muur of scherm.



De schoenendoosbeamer



De schoenendoosbeamer aan de binnenkant met een telefoonhouder

### Uitvoering

1. Bouw de opstelling, zoals hiervoor beschreven staat.
2. Maak het donker in het lokaal. Positioneer de schoenendoosbeamer zodanig dat je het verlichte scherm van de mobiele telefoon scherp kunt projecteren op een scherm of witte muur.
3. *Het beeld staat op z'n kop. Hoe kun je het beeld rechtop krijgen? Het "meedraaien" van het scherm op basis van de positie van de telefoon moet je op de telefoon dan uitschakelen.*
4. Meet nu de voorwerpsafstand en beeldafstand.
5. *Bereken met de gemeten waarden van v en b de brandpuntsafstand van de lens.*
6. Een optie is de leerlingen de brandpuntsafstand te geven en hen op basis van de positie van de mobiele telefoon in de schoenendoos te laten voorspellen op welke afstand van de lens een scherp beeld te verwachten valt.

7. De afmeting van het voorwerp (het scherm van de mobiele telefoon) en het beeld kun je in elke positie eenvoudig meten.
8. Bereken de lineaire vergroting van de lens.
9. Je kunt voorgaande stappen herhalen om de leerlingen een (dieper) inzicht te geven in de verbanden die aan de orde zijn tussen voorwerpsafstand, beeldafstand en brandpuntsafstand.

Je kunt het experiment ook kwalitatief aanpakken. Je kunt dan de voorwerpsafstand (de positie van de mobiele telefoon in de schoenendoos) variëren. Dan kun je vragen en vervolgens onderzoeken in welke richting je de schoenendoos moet verplaatsen om (weer) een scherp beeld te krijgen. Vanzelfsprekend is het ook mogelijk de beeldafstand te variëren. Je zoekt dan met een aanpassing in de voorwerpsafstand naar het scherpe beeld.

### Natuurkundige achtergrond

Bij een positieve lens is het verband tussen zijn de voorwerpsafstand ( $v$ ), de beeldafstand ( $b$ ) en de brandpuntsafstand ( $f$ ) gegeven in de lenzenformule:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

De lineaire vergroting  $N$  kun je berekenen met:

$$N = \frac{\text{afmeting beeld}}{\text{afmeting voorwerp}} = \frac{b}{v}$$

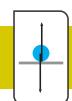
### Tips

- Zorg dat de opstelling en het beeld goed te zien zijn, daar de afmetingen van het experiment niet zo groot zijn.
- Het gebruik van eenvoudige middelen zal de leerlingen aanspreken. Zij kunnen ook zelf een schoenendoosbeamer maken.
- De lichtintensiteit van het beeld is gering. Om dit enigszins te compenseren moet je de lichtintensiteit van het scherm van de mobiele telefoon op maximaal instellen.

### Verder onderzoek

Je kunt, met de juiste vragen en opdrachten, dit ook door de leerlingen zelfstandig uit laten voeren. Daarbij kun je kiezen voor lenzen met verschillende lenssterken.

## KRACHTMOMENT 2



Alle leerlingen zitten op hun stoel. Til de knie van één been iets omhoog, los van de stoel. Dat kost niet veel moeite. Strek nu het been. Dat kost wel moeite. Het krachtmoment (kracht x arm, kracht maal afstand van heup tot het zwaartepunt van het been) is nu veel groter.

## B30 HOUTJE-TOUWTJE-HARMONICA



10-20 minuten



vanaf klas 2

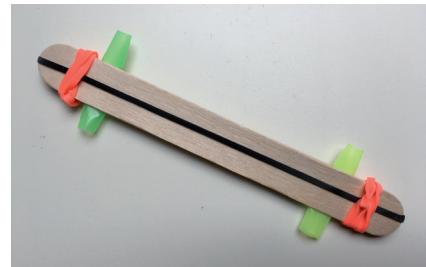
Leerlingen vinden het leuk iets te maken dat werkt. Als ze daarmee inzicht krijgen in het verband tussen twee grootheden is de winst dubbelop. Ze variëren dan bepaalde eigenschappen aan een ontwerp en onderzoeken welke grootheden mee variëren.

### Nodig

Twee tongspatels; twee stukjes van een rietje;  
drie elastiekjes.

### Voorbereiding

Span een elastiekje in de lengterichting om een tongspatel heen. Plaats vervolgens de twee stukjes rietje tussen deze en een tweede tongspatel. Het is daarbij zaak het ene rietje boven het elastiekje te plaatsen en het andere rietje eronder. Bevestig de beide tongspatels stevig aan elkaar met twee elastiekjes. Het resultaat van het muziekinstrument is te zien in de figuur.



De 'harmonica'

### Uitvoering

1. Bouw het muziekinstrument, zoals beschreven en te zien is in de figuur.
2. Blaas tussen de twee tongspatels door en neem de klank waar.
3. De frequentie van de toon die wordt voortgebracht kun je bepalen met bijvoorbeeld phyphox. De toepassing "Audio spectrum" is hiervoor erg geschikt.
4. In het muziekinstrument kunnen nu een aantal aanpassingen worden doorgevoerd. Voorbeelden hiervan zijn het strakker spannen van het elastiekje dat over de tongspatel gespannen is, het verplaatsen van (een van) beide(n) rietjes of het strakker of juist losser spannen van de tongspatels tegen elkaar. Bij elke aanpassing kan opnieuw de frequentie van de (grond)toon bepaald worden. Hierdoor ontstaat er inzicht in de relatie tussen de uitgevoerde aanpassing en de gevolgen daarvan voor de voortgebracht toon.
5. Controlevraag: *In het ontwerp is een aantal natuurkundige begrippen te herkennen (trillingen, staande golven, resonantie, enz.). Welke begrippen kunnen jullie benoemen? Hoe herken je deze in de houtje-touwtje-harmonica?*

### Natuurkundige achtergrond

Door tussen de tongspatels te blazen zal het elastiekje dat in de lengterichting om een tongspatel is gespannen in trilling komen. De ruimte tussen de tongspatels treedt op als een soort van klankkast, waardoor versterking van het geluid op zal treden. De exacte natuurkundige achtergrond van muziekinstrumenten is complexer dan de schoolnatuurkunde (over staande golven, resonantie, enz.) doet vermoeden en hoeft in het kader van dit experiment niet aan de orde te komen.

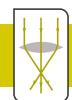
## Tips

- De klank die wordt voortgebracht is allerminst zuiver. Bij de frequentie-analyse is het dus zaak de grondtoon te ontdekken. Wijs de leerlingen hierop.
- Het hoofddoel van het experiment is het vinden van de verbanden tussen een aanpassing aan de houtje-touwtje-harmonica enerzijds en de frequentie van de grondtoon anderzijds.
- Het analyseren van het volledige frequentiespectrum van de ontstane klank is een mogelijkheid, maar is vanwege de onzuiverheid van de klank behoorlijk complex.

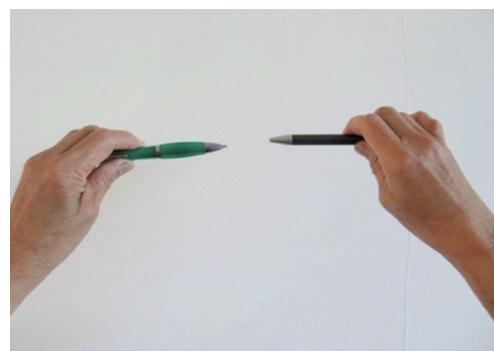
## Verder onderzoek

De insteek van het experiment is onderzoekend. Het doel is dan ook de zoektocht naar de verbanden tussen aanpassingen aan de houtje-touwtje-harmonica en de voortgebrachte toon en/of klank.

## DIEPTE ZIEN 1



Twee ogen zijn beter dan een, vooral in het zien van diepte en schatten van afstanden. Laat elke leerling een pen in zowel linkerhand als rechterhand nemen. Beweeg die handen even willekeurig heen-en-weer, laat alle leerlingen dan één oog dicht doen en dan de pennen naar elkaar toe bewegen totdat de punten elkaar raken. Met een oog dicht zit je er gauw naast, met twee ogen open is het heel makkelijk. Het experiment kan ook met de twee wijsvingers gedaan worden, maar met pennen is het effect dramatischer.



Afstand schatten met een of twee ogen

## B31 DRAAIENDE BALLON



10-20 minuten



vanaf klas HV4

Veel leerlingen vinden het begrip 'middelpuntzoekende kracht' lastig. Het misconcept van een 'middelpuntvliedende kracht' ligt daarbij voortdurend op de loer. Dit experiment daagt de leerlingen uit een verklaring te zoeken voor de getoonde situatie. Met het hanteren van de juiste vaktaal kun je de leerlingen er toe brengen om van het mogelijke misconception van de middelpuntvliedende kracht af te stappen. Dit experiment kan bijdragen aan een 'conceptual change'.

### Nodig

Ballon; ongewonden koord; donker gekleurde vloeistof; ophangpunt.

### Voorbereiding

Vul een ballon met een donker gekleurde vloeistof. Blaas de ballon een stuk op en knoop hem dicht. Bevestig een koord aan de ballon en hang de ballon vrij op. Een voorbeeld van een opstelling zie je in de figuur.

### Uitvoering

1. Maak de opstelling, zoals beschreven en te zien is in de figuur.
2. Draai de ballon een flink aantal keer rond, zodat het koord zich opwindt.
3. Laat de ballon los. Het koord zal nu terug afwinden en de ballon zal met een aanzienlijke hoeksnelheid rond gaan draaien.
4. De vloeistof in de ballon zal een significant andere positie in de ballon in gaan nemen ten gevolge van de rotatie. Bij een flinke hoeksnelheid kan zelfs de situatie ontstaan dat er een ring van vloeistof ontstaat langs de wand van de ballon op een bepaalde hoogte.
5. *Wat is de verklaring van het verschijnsel?* De verwachting is dat veel leerlingen met een foute verklaring zullen komen, maar dat is in eerste instantie niet erg. Presenteer zelf de fysisch juiste verklaring en laat de leerlingen deze vergelijken met hun eigen (mogelijk) foute of onvolledige verklaring. Als de leerling accepteert dat de eigen verklaring fout is en de juiste verklaring accepteert kan er 'conceptual change' ontstaan.
6. Controlevraag: Geef aan de leerlingen een schematische figuur of foto van de situatie waarin de ballon draait. Bepaal de draaisnelheid van de ballon uit de foto of figuur.



De opstelling

## Natuurkundige achtergrond

Als je de vloeistof in de ballon ziet als één object mag je stellen dat er sprake is van een normaalkracht van de ballon op de vloeistof. Als de ballon rond draait, is er een bepaalde middelpuntzoekende kracht nodig om ook de vloeistof mee te laten draaien. Vanwege de rotatie is er een grotere normaalkracht nodig en die is er hoger in de ballon. Er ontstaat daarbij een soort van optimale verhouding tussen de baansnelheid van de vloeistof en de straal van de cirkelbaan van de vloeistof.

## Tips

- Het experiment werkt alleen goed als er sprake is van een grote draaisnelheid van de ballon. In een gewonden koord is er sprake van torsie, zodat je geen hoge draaisnelheden kunt bereiken.
- Een andere manier om de ballon rond te laten draaien is door deze via een koord te bevestigen aan een accuboormachine.
- Het vergt wat proberen om de optimale hoeveelheid vloeistof in de ballon te krijgen. Bij een te grote massa vloeistof is het traagheidsmoment van de ballon te groot en treedt het effect niet of te gering op. Bij een te kleine hoeveelheid vloeistof is het verschijnsel niet goed zichtbaar. Een hoeveelheid van ongeveer 200 mL werkt goed.

## Verder onderzoek

De variabelen in dit experiment zijn de grootte van de ballon, de hoeveelheid vloeistof in de ballon en de rotatiesnelheid. Hiermee kun je volop variëren, waarbij met name een variatie in rotatiesnelheid (middels het meer of minder torderen van de draad) veel mogelijkheden geeft.

## DIEPTE ZIEN 2



Verzamel centen, knopen of paperclips en gebruik een bekertje. Het bekertje moet ongeveer 60 cm van de proefpersoon vandaan zijn. Die doet één oog dicht. De docent houdt de cent, knoop of paperclips ongeveer 50 cm boven de tafel. Beweeg de hand langzaam. Vraag de proefpersoon "laat vallen" te zeggen op het moment dat hij/zij denkt dat het voorwerp precies boven het bekertje is en zie of die inderdaad in het bekertje valt. Herhaal dit ook met twee ogen. Probeer op grotere en kleinere afstand. Vergelijk het resultaat van 10x vallen bij elke afstand. Is er verbetering met twee ogen open? Is er verbetering wanneer het bekertje dichterbij is?

## B32 NATUURKUNDE VAN DE PANFLUIT



*Bepaling van de geluidssnelheid*



15-20 minuten



vanaf klas 5 h/v

In deze demonstratie gebruiken we een zelfgemaakte panfluit en doen we metingen aan de lengte van de buizen en met de phyphox app aan de bijbehorende frequentie. De theorie van staande golven in een open en een gesloten buis levert vervolgens een nauwkeurige bepaling van de geluidssnelheid.

### Nodig

5 pvc buizen met verschillende lengtes maar metzelfde diameter; telefoon met phyphox.

### Voorbereiding

Start de phyphox app en laad het Jupyter Notebook.

### Uitvoering

Deze demonstratie sluit aan bij de theorie over staande golven.

1. Blaas over een lange buis met je duim op de onderkant van de buis.

*Is de toon hoger/ lager of gelijk is aan de toon die je krijgt als je over een korte buis blaast. Waardoor?*

Blaas over de korte buis om uitsluitsel te geven.

2. Leg uit dat je de relatie tussen de lengte van de buis en de toonhoogte (resonantiefrequentie) wilt bepalen.

Meet vervolgens voor alle buislengtes de bijbehorende frequenties Gebruik de phyphox app voor de frequentie metingen.

3. Zet de gegevens in het Notebook. Je kunt de leerlingen vragen om de geluidssnelheid zelf te bepalen, gebruikmakend van

$$l = \lambda/4$$

Ze zien dan, dat de berekende golfsnelheid telkens toeneemt. Dat is vreemd! Die ervaring van 'vreemd' kun je gebruiken om aannemelijk te maken dat het nuttig is om de resultaten met de computer/grafisch te analyseren. Run vervolgens de cellen, zodat je de grafieken ziet. *Klopt het dat de frequentie lager wordt naarmate de buis langer wordt?*

Besteed bij de uitleg aandacht aan het lineaire verband tussen de frequentie van de grondtoon en het omgekeerde van de lengte van de buis  $l$ . De richtingscoëfficiënt geeft de geluidssnelheid.



*De demonstratie heeft niet veel nodig: een paar pvc buizen van verschillende lengtes en je telefoon.*

*Maar klopt de waarde eigenlijk ook als je maar één meting gebruikt?  
Waardoor niet?*

4. Blaas hard over de buis. Je hoort dan duidelijk een boventoon waaraan je kunt meten. Controle: *Maak en tekening van een mogelijke boventoon in de buis. Bereken op basis van die tekening, de resonantiefrequentie.* Controleer deze frequentie met een meting.

### Natuurkundige achtergrond

In de open-gesloten buis is de grondfrequentie gelijk aan:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4l'}$$

We noteren hier  $l'$  omdat de buik niet precies op de opening van de buis ligt, maar er net buiten. Er geldt dus:

$$l' = l + \Delta l$$

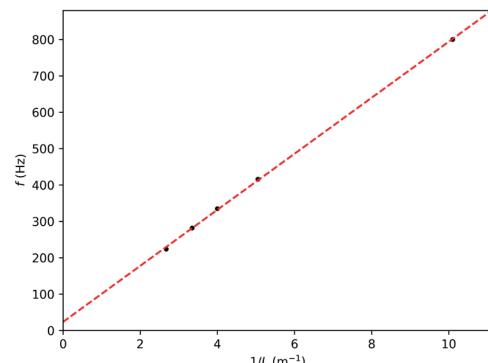
Hierin is  $\Delta l$  een systematische afwijking. Dit verklaart ook waarom je metingen bij meerdere lengtes nodig hebt.

### Tips

Als je hard op de buis blaast, hoor je duidelijk een van de boventonen. Het HAVO-examen 2017-2 (opgave 1) gaat ook in op deze demonstratie en die opgave kun je gebruiken om verder te oefenen.

In plaats van buizen met verschillende lengte te gebruiken kun je ook de buis aan één zijde onderdompelen in een hoge maatcilinder. De effectieve lengte van de buis is dan eenvoudig te veranderen.

Een aardige variant op deze demonstratie is hier te zien: (<https://youtu.be/eaeyIJAYsvo>).



*De data gepresenteerd met coördinaattransformatie.*

*Op basis van de functiefit volgt hieruit de geluidssnelheid in lucht.*

## B33 COMPLEMENTAIRE VLAG



*Optische illusie*



5 minuten

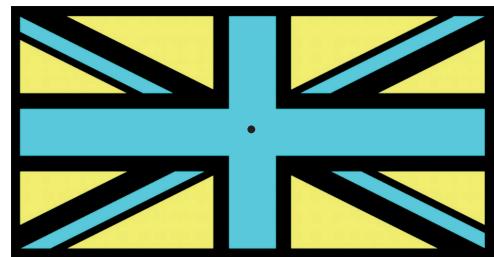


onderbouw

Kleuren zien is een ingewikkeld proces. De golflengte van het licht dat in onze ooglens valt is belangrijk, maar dat is pas het halve verhaal. Want achter de ooglens valt het licht op de fotoreceptoren: staafjes (voor zwart-wit en diepte zien) en kegeltjes (voor kleuren zien) in het netvlies. Die fotoreceptoren sturen een signaal door de zenuwen naar de hersenen. Gebruik deze demonstratie als aandachtstrekker bij een les over licht en zien.

### Nodig

De figuur; een digibord of een poster met de complementaire vlag.



*Complementaire vlag*

### Voorbereiding

Leg van tevoren duidelijk uit, dat er iets magisch gaat gebeuren in je hersenen; dat je dingen gaan zien die er niet zijn, maar dat het alleen werkt als je stil en geconcentreerd bent. Dat is natuurlijk niet echt noodzakelijk, maar maakt het wel spannend.

### Uitvoering

1. *Zo meteen moeten jullie 30 seconden lang naar het zwarte stipje in het midden van de afbeelding staren. Je mag knipperen, maar niet ergens anders naar kijken.*  
Houd de tijd bij of tel hardop.
2. *Onmiddellijk daarna kijken jullie naar een wit vlak.*  
Na korte tijd verschijnt de vlag van Groot-Brittannië op het witte vlak. Als hij weer verdwijnt helpt het soms om even te knipperen.
3. Controlevraag: *Hoe zou een nabeeld van de Nederlandse vlag er uit zien?*  
Oplossing: cyaan, zwart, geel.

### Natuurkundige achtergrond

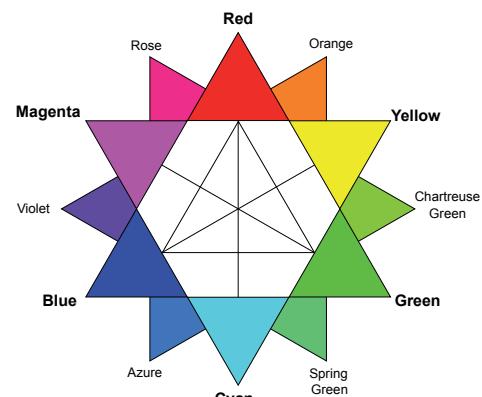
De eerste vlag (figuur hierboven) is dezelfde als die je ziet op het witte vlak, maar dan met complementaire kleuren. Dit noem je nabeeld. Als je kijkt zonder je ogen of het beeld te bewegen, worden de kegeltjes op het netvlies in het oog, die verantwoordelijk zijn voor het kleurenzicht, belast. In het gebied waar bijvoorbeeld het licht van de geelgekleurde gebieden op valt, wordt het kegeltje voor geel overbelast en wordt ongevoelig voor het zien van geel.

Een eiwit, het zogenaamde fotopsine, in het kegeltje wordt afgebroken. Als je nu naar het witte vlak kijkt, valt er wit licht op het stuk netvlies waarvan het fotopsine is uitgeput. Wit licht bestaat uit alle kleuren van het spectrum. Je ziet dat in dit gebied alle kleuren behalve geel. Dit betekent voor je hersenen: je ziet blauw, want dat is de

complementaire kleur van geel. Dit werkt tot de overbelaste fotopsines hersteld zijn. Dit herstel kan een paar minuten duren.

### Verder Onderzoek

Voor de uitleg, of voor het zelf maken van geïnverteerde afbeeldingen, maak je gebruik van het kleurenwiel (figuur hiernaast). Hierin staat complementaire kleuren precies tegenover van elkaar: geel-blauw; cyaan-rood en magenta-groen. Deze demonstratie is uitstekend geschikt om in samenwerking met biologie uit te voeren.



Kleurenwiel met primaire en secundaire kleuren  
(DanPMK at English Wikipedia, CC BY-SA 3.0)

### Bronnen

Hier kun je de afbeelding digitaal krijgen: <https://www.moillusions.com/union-jack-afterimage/>

En als je op Youtube 'optical illusion Union Flag' zoekt, krijg je het zelfs met het Britse volkslied in:  
[https://www.youtube.com/watch?v=TGSxS1-P9WY&ab\\_channel=AndrewHammersley](https://www.youtube.com/watch?v=TGSxS1-P9WY&ab_channel=AndrewHammersley)

## LUCHTDRUK



Een rietje en een glas water. Doop het rietje in het glas en haal het er weer uit. Leeg. Doop het rietje in het water en sluit de bovenkant af met een natte vinger, en haal het dan uit het water met de bovenkant nog steeds afgesloten. Waardoor blijft er water in zitten? Dit is ook een manier om kleine hoeveelheden water van het ene glas in het andere te brengen. Je kunt die hoeveelheden zelfs meten door een schaalverdeling te maken op het rietje.

## B34 CIRKELGOLF



10-20 minuten



vanaf klas HV5

Het ontstaan van een staande golf als interferentieverschijnsel is voor veel leerlingen lastig te begrijpen, temeer daar zij de logica van interferentie tussen de heengaande en de teruggekaatste golf niet in voldoende mate zien en ook niet kunnen waarnemen. In dit experiment stuur je een golf door een cirkelvormige draad, waarmee je de interferentie tussen twee golven duidelijker maakt.

### Nodig

Trillingsapparaat, toongenerator, cirkelvormige lus (bijvoorbeeld van ijzerdraad), rolmaat.

### Voorbereiding

Maak van een stuk ijzerdraad een cirkelvormige lus (diameter 30 à 40 cm) en verbind de uiteinden van de draad aan een trillingsapparaat. Sluit dit trillingsapparaat aan op een toongenerator, zodat de lus een variabele frequentie kan krijgen. Diverse frequenties zullen verschillende staande golfpatronen te zien geven. Zoek dit voor de uitvoering van de proef alvast uit.



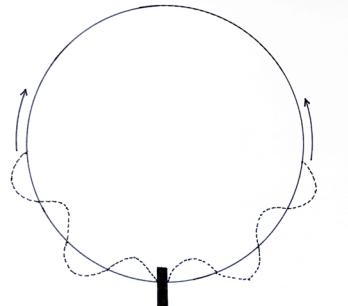
*Bij een bepaalde frequentie krijg je een staande cirkelgolf.*

### Uitvoering

1. Bouw de opstelling.
2. Verander de frequentie van de trillingsbron zo dat er een staande golf in de lus te zien is.
3. *Bepaal de golflengte van de staande golf.* Een typisch voorbeeld van een ontstane toestand is te zien in de figuur.
4. *De frequentie van het trillingsapparaat is bekend. Bereken de golfsnelheid in de draad.*
5. Wijs de leerlingen expliciet op de wijze waarop de staande golf ontstaan is. Er loopt een golf linksom door de lus en er loopt een golf rechtsom door de lus. Deze interfereren met elkaar, waarbij in bepaalde situaties een staande golf ontstaat.
6. Je kunt onderzoeken bij welke frequenties er nog meer een staande golf optreedt.
7. Controlevraag: *In de lus in bovenstaande afbeelding geldt een golfsnelheid van 25 m/s. De diameter van de lus is 20 cm. Bereken de frequentie waarop het trillingsapparaat staat ingesteld.*

## Natuurkundige achtergrond

Bij het trillingsapparaat ontstaan lopende golven in de lus. Een golf zal linksom door de lus bewegen en een andere golf zal rechtsom door de lus bewegen. In de figuur hiernaast is dit schematisch weergegeven. Onder de juiste voorwaarden voor de frequentie zal er in de lus een staande golf ontstaan.



Lopende golven linksom en rechtsom

## Tips

- Het buigen van de lus is niet heel erg lastig, maar dient wel nauwkeurig te gebeuren om een goede cirkelvorm te krijgen. Om een grote ronde emmer of ton heen buigen geeft een goed resultaat.
- Het vergt enig zoekwerk om een aantal toestanden te vinden, waarbij een staande golf optreedt. Het is aan te bevelen om dit ter voorbereiding alvast te onderzoeken, zodat bekend is bij welke frequenties je ongeveer moet zoeken.

## Verder onderzoek

In de beschrijving van dit experiment is gekozen voor een voornamelijk kwalitatieve benadering. Je kunt ook kiezen voor een meer kwantitatieve benadering, waarbij je de frequentie en de bijbehorende golflengte van de ontstane staande golf kunt bepalen in een aantal toestanden. Uit deze meetresultaten kun je dan bijvoorbeeld de (gemiddelde) golfsnelheid in de lus bepalen.

## COHESIE



Vul een glas water tot het helemaal vol is, maar het oppervlak nog steeds hol. Laat nu leerlingen raden hoeveel munten er nog bij kunnen in het glas. Verzamel munten van de leerlingen. Doe ze één voor één voorzichtig in het water. Het blijkt dat er heel veel munten bij kunnen zonder dat het glas overloopt, uiteindelijk komt het wateroppervlak bol te staan zonder dat het overloopt .... cohesie!

## B35 METEN AAN 'STERREN'

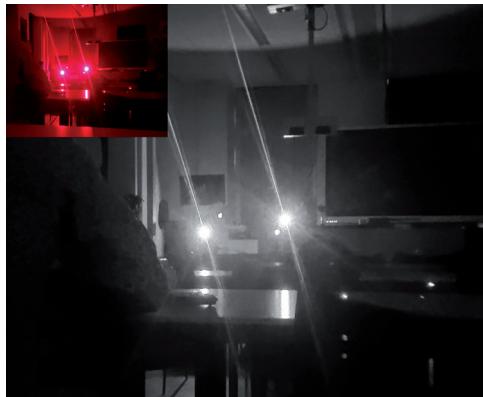


30-40 minuten

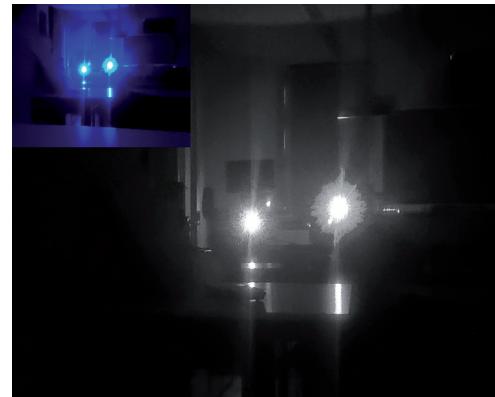


bovenbouw vwo

In deze activiteit simuleer je sterrenkundige waarnemingen in het klaslokaal door waar te nemen aan gloeilampen. Het doel is om de leerlingen duidelijk te maken hoe je op relatief eenvoudige wijze temperatuur-informatie van sterren kunt krijgen. In sommige gevallen leidt dat ook tot informatie over de lichtkracht van een ster en dus tot afstands-informatie. Dat kunnen ze met wat hulp zelf bepalen, hetgeen veel heen-en-weer-denken vraagt.



De twee gloeilampen gefotografeerd door een roodfilter voor de camera van de mobiele telefoon te houden. De inzet toont de oorspronkelijke kleurenopname.



Dezelfde twee gloeilampen nu gefotografeerd door een blauwfilter voor de camera van de mobiele telefoon te houden. De inzet toont de oorspronkelijke kleurenopname.

### Nodig

Twee *identieke* gloeilampen die je op verschillende spanningen kunt laten branden, bijvoorbeeld met behulp van een dimmer; een set eenvoudige rode filters en een set blauwe filters; smartphones.

Let op: in de sterrenkunde wordt een filter genoemd naar de golflengte die het filter doorlaat. Een roodfilter laat dus rood licht wel door en absorbeert andere golflengtes. Dat is anders dan in de fotografie.

### Voorbereiding

Je zet vooraf een aantal *identieke* gloeilampen klaar als 'sterren'. Daarbij zorg je voor verschillende helderheden door de lampen op verschillende spanningen te laten branden. In de afbeeldingen zijn gloeilampen van een optische rail gebruikt, die 30 W leveren op 6 V. Eén lamp staat op 6 V, de andere op 4 V. De gloeilampen moeten identiek zijn, omdat de oppervlakte van het gloeidraadje hetzelfde moet zijn. Je maakt de afstand tussen de lampen dusdanig dat ze even helder lijken vanuit achterin de klas.

Je kunt ook een lange gang of hal gebruiken voor de opstelling. Verduistering is sfeer verhogend, maar niet noodzakelijk.

### **Uitvoering**

Je introduceert de lampen als de 'sterren' waaraan de leerlingen gaan meten en waarvan ze kwalitatief temperatuur en afstand gaan bepalen. Daarbij kun je benadrukken dat dat in eerste instantie erg makkelijk lijkt, omdat je meteen ziet welke feller en blauwer brandt en welke dus een hogere temperatuur heeft. Alle omgevingsinformatie maakt ook direct duidelijk welke lamp dichterbij staat; dat kun je immers gewoon zien. Daarom gaan de leerlingen deze bepalingen uitvoeren met de informatie die een sterrenkundige ook heeft als hij gaat waarnemen: zwart-wit foto's waarop alleen de lampen zichtbaar zijn; alle informatie over de omgeving (tafels, muren en dergelijke) die wel op de foto's zichtbaar is, mogen ze niet gebruiken. Wat ze wel mogen gebruiken zijn een set kleurenfilters en hun eigen smartphone-camera ( ingesteld op zwart-wit als dat kan). De opdracht wordt dan: "Bepaal welke van deze lampen de hoogste temperatuur heeft en welke het dichterbij staat met de camera van je mobiele telefoon en de kleurenfilters zonder omgevingsinformatie te gebruiken." Het loont de moeite om de leerlingen eerst te laten nadenken en overleggen met elkaar om te bedenken wat ze kunnen doen, voordat ze filters mogen pakken.

De oplossing welke foto's je moet maken is eenvoudig, een volledige redenering opzetten is beduidend lastiger. Je moet de beide lampen één keer fotograferen door een roodfilter en één keer door een blauwfilter met exact dezelfde instellingen. Uit het slim onderling vergelijken volgt het antwoord op de vragen naar temperatuur en afstand. Bij de nabespreking kun je flink doorvragen zodat de leerling stevig moet heen-en-weer-denken en daardoor de waarnemingen leert interpreteren met behulp van de Verschuivingswet van Wien en de Wet van Stefan-Boltzmann. Om dat redeneren te ondersteunen, kun je een diagram met spectra van zwarte stralers laten zien. Dat helpt om uit de waarnemingen de temperatuur te halen en het helpt ook om nog eens te benadrukken dat een object (ster) met een hogere temperatuur in alle golflengtegebieden een hoger vermogen uitzendt.

### **Natuurkundige achtergrond**

De lamp met de hoogste temperatuur zal kortere golflengtes uitzenden (Verschuivingswet van Wien) en daardoor het felst zijn in het blauwfilter (in de afbeeldingen is dat de rechter lamp), terwijl er in het roodfilter niet of nauwelijks verschil zal optreden. Daaruit volgt dat de relatief blauwste lamp de hoogste temperatuur heeft. Omdat een hogere temperatuur tot een hoger uitgestraald vermogen leidt (Wet van Stefan-Boltzmann) en de beide lampen ongeveer even fel lijken, staat de lamp met de hoogste temperatuur het verst weg. In de afbeeldingen boven staat de linker lamp dus op de kleinste afstand. Deze laatste stap kun je alleen zetten als je weet dat het oppervlak van de gloeidraad hetzelfde is, hetgeen voor identieke gloeilampen een juiste aanname is. Bij echte sterren is dat echter niet het geval, dus daar loopt de vergelijking mank, een aspect om te benadrukken bij de nabespreking.

In deze redenering zitten allerlei heen-en-weer-denken stappen om de waarnemingen te verbinden aan de conclusies. Er vindt een dubbele vergelijking plaats: in één van de twee filters moet er geen (of zeer weinig) verschil tussen de sterren te zien zijn (in de afbeeldingen boven is dat het roodfilter) en in het andere filter moet er wel

duidelijk verschil zichtbaar zijn. Alleen dan kun je iets zeggen over de kleur en dus de temperatuur. Als in beide filters dezelfde lamp feller is, dan kun je helaas niets zinvolks zeggen zonder kwantitatief te gaan meten (hetgeen sterrenkundigen prima kunnen). Ook de stap naar de afstand vraagt een subtile vergelijking, omdat ook hier essentieel is dat de beide lampen ongeveer even fel lijken.

In de sterrenkunde wordt voor kleurinformatie meestal een blauw- en een groenfilter gebruikt. Met de groenfilters die de auteur tot zijn beschikking heeft, is het verschil echter te klein.

### Tips

Deze activiteit lukt helaas niet met elke mobiele telefoon. Sommige camera's lijken zelf te veel aan te passen en de instellingen niet gelijk te houden. Instellen op volledig handmatig, de isowaarde verhogen en dichtdraaien van het diafragma, blijkt soms een oplossing. Leerlingen in groepjes laten samenwerken kan het probleem verminderen. Als het snel kan, dan kun je één van de foto-paren van een leerling op de beamer zetten voor de nabespreking. Zorg in ieder geval zelf voor twee bruikbare foto's!

### Bronnen

Wikipedia geeft informatie over de relatie tussen kleur-index en temperatuur:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_index)

## LUCHTBELLEN



*Ik heb een rietje, zit er wat in? Kan wat erin zit ergens tegenaan duwen en een kracht uitoefenen? Sluit de top van een rietje af met een natte vinger en duw het rietje in het glas water. Vergelijk het water niveau in het rietje met dat in het glas. Er is dus iets in het rietje dat water weg kan duwen! Lucht! Nog beter, als er een afwasbak of pannetje is, wat water erin, dan leeg glas op zijn kop erin. Je duwt het water niveau onder het glas zo naar beneden. Hoe groot is de luchtdruk in het glas als het water 1 cm naar beneden wordt gedrukt? Of met twee glazen waarvan een vol water en het andere met een luchtbel, laat luchtbellen van het ene naar het andere glas gaan. Een leuk spelletje voor de afwas thuis. De luchtbellen gaan altijd naar boven. In een met water gevulde reageerbuis op zijn kop in een bakje water kun je dat ook mooi laten zien. Bijvoorbeeld blaas er lucht in met een rietje. Waaraan kun je zien of de luchtdruk boven in de omgekeerde reageerbuis groter of kleiner is dan de atmosferische druk?*

## B36 VOLGZAAM BLIKJE



5 minuten

onderbouw

Een demonstratie bij statische elektriciteit, die leerlingen leuk zullen vinden. Vooral het van richting veranderen van het rollende blikje is leuk om te zien.

### Nodig

Voorwerp dat je een statische lading kunt geven (ballon of fun fly stick); leeg blikje.



### Voorbereiding

Leg de spullen op je bureau of demonstratietafel klaar. Leg het blikje op zijn kant.

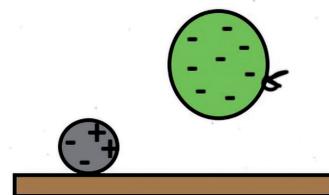
### Uitvoering

1. Zorg dat de ballon statisch geladen is of zet de fun fly stick aan.  
Houd de ballon of stick in de buurt van het blikje.
2. Beweeg de ballon of stick van het blikje af en het blikje gaat meerollen. Het blikje rolt altijd achter het statisch geladen object aan.
3. *Wat is een verklaring voor dit verschijnsel? Gaat deze demonstratie ook lukken met een plastic flesje?*
4. *Waardoor gaat het blikje altijd meerollen en nooit door de ballon of stick afgestoten worden?*

*Fun Fly stick en 'volgzaam' blikje*

### Natuurkundige achtergrond

Het geladen object kan de vrije elektronen in het metaal van het blikje verplaatsen. Als de ballon negatief is geladen, zal het vrije elektronen in het metaal van het blikje steeds afstoten. De vrije elektronen zullen dus van de ballon weg bewegen, zodat de kant van het blikje dat naar de ballon gericht is een netto positieve lading heeft. Zie figuur hiernaast. Het blikje wordt aangetrokken. Dit verschijnsel heet influentie.



*Rollen door influentie*

### Tip

Met de fun fly stick kun je veel leuke statische experimentjes met statische lading doen.

## B37 ONZICHTBAAR DOOR OPTICA



Twee optische effecten laten voorwerpen verdwijnen



Gebruik deze demonstraties om leerlingen te verrassen. Doe de demonstraties als gooicheltrucs. Plaats een koker over de glazen om de demonstratie nog mysterieuzer te maken. Probeer de leerlingen wijs te maken dat je het voorwerp (munt of glas) kunt laten verdwijnen. De leerlingen kunnen deze demonstraties zien bij het begin van het opticahoofdstuk of juist aan het einde om begrippen te herhalen.



De opstelling met beide theeglazen. Onder elk theeglas ligt een munt.



Opstelling met de twee bekerglazen in elkaar. Het binnenste glas is geheel gevuld met water. De ruimte tussen de glazen is ook gevuld. De kleine maatbeker is niet meer zichtbaar.

### Nodig

Demo 1: Een of twee theeglazen; een of twee munten; water.

Demo 2: Twee maatbekers of glazen van verschillende grootte (verhouding diameters ~ 2 : 3, de kleinste moet mooi in de grootste passen); water.

Eventueel een ondoorzichtige koker die over de opstelling past.

### Voorbereiding

Zorg dat opstelling op de gewenste plek in het lokaal staat. En zet wat water klaar om te schenken.

Demo 1: Zet de theeglazen goed zichtbaar neer en leg onder elk een munt.

Demo 2: Plaats de kleinste maatbeker in de grootste maatbeker en draai de opdruk van beide maatbekers naar achter. Zodat de leerlingen die niet zien. De opdruk zal ervoor zorgen dat de binnenste beker niet 'verdwijnt'.

### Uitvoering

Demo 1:

1. Schenk water in één theeglas en laat de leerlingen naar beide glazen kijken.
2. Geef de leerlingen wat tijd om na te denken wat er gebeurt.

- Schenk het water uit het theeglas en laat zien dat munt weer verschijnt.

**Demo 2:**

- Plaats de twee bekerglazen in elkaar. Zet de koker eventueel over de twee bekerglazen. Giet eerst water in het binnenste glas.
- Haal de koker weg, laat zien wat de situatie nu is en herplaats de koker. Voeg nu meer water toe zodat het kleinste glas onder water verdwijnt. Haal de koker weg en doe net of je de binnenste maatbeker meepakt.
- Laat de leerlingen verklaren waar het binnenste glas is gebleven. Als zij zeggen dat het in de koker zit kun je laten zien dat de koker leeg is.
- Laat de leerlingen nadenken over hoe het komt dat het binnenste glas 'verdwijnt'.

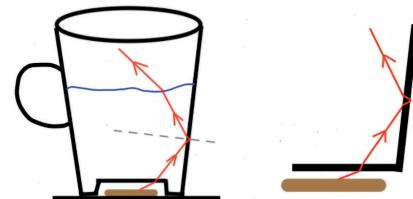
**Natuurkundige achtergrond**

- Licht van de munt onder het theeglas met water zal van water naar glas naar lucht gaan. Water en glas hebben ongeveer gelijke brekingsindices. Als het licht vanuit glas naar lucht gaat komt op het grensvlak glas en lucht en treft daar het grensvlak met een hoek groter dan de grenshoek. Het licht van de munt komt daarom niet via de zijkant van het theeglas naar buiten.
- Lichtstralen vanuit het binnenste glas komen op het grensvlak glas naar lucht van het buitenste glas en breken van de normaal af. De lichtstralen convergeren daardoor en de lichtstralen van het binnenste glas lijken van de wand van het buitenste glas te komen. Het buitenste glas werkt als een vergrootglas. Het is aardig om eens met glazen van verschillende diameter te proberen. Voor het beste effect:

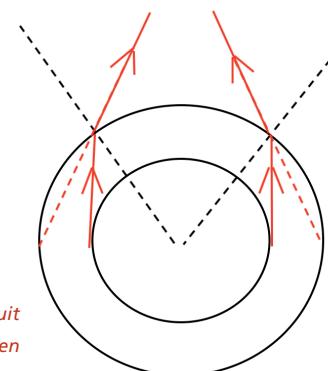
$$\frac{D_{\text{buiten}}}{D_{\text{binnen}}} \approx n_{\text{glas}}$$

**Tips**

- Je kunt een webcam op de opstelling richten en dan projecteren op een digibord of scherm.
- Kies grote theeglassen met een bolling onder in het glas zodat een muntje onder het theeglas past en het glas dan ook nog stabiel staat.
- In plaats van een muntje kun je ook een stukje felgekleurd papier gebruiken.
- Maatbekers zijn waarschijnlijk in verschillende maten aanwezig op school. Kies zelf een combinatie die groot is en goede resultaten geeft. Neem bekers met een dunne bodem anders blijft de bodem van het binnenste glas zichtbaar.



De lichtstraal vanaf de munt treft de buitenwand van het glas met een grotere hoek dan de grenshoek. De lichtstraal wordt dus spiegelend weerkaatst.



Lichtstralen van het binnenste glas convergeren als ze uit het buitenste glas komen. Deze lichtstralen lijken voor een waarnemer dus uit de rand van het buitenste glas te komen.

## B38 KLINKENDE STAAF



Golven en trillingen



5-10 minuten



bovenbouw HV

Een metalen staaf kan mooie geluiden maken. Of en hoe deze klinken, hangt wel af van waar je hem vastpakt.



*Een staaf in het midden pakken en dan tegen een tafel aantikken of op een andere manier aanslaan, geeft een mooie klank.*



*Als je de staaf aan het uiteinde pakt, hoor je alleen een doffe klap. De staaf klinkt niet na.*

### Nodig

Metalen staaf, bijvoorbeeld een statiefstang.

### Voorbereiding

Test van tevoren waar je de staaf tegenaan tikt en houd de staf op diverse plekken vast om een idee te krijgen hoe deze dan klinkt. Probeer eventueel nog een staaf van ander materiaal.

### Uitvoering

1. Pak de staaf in het midden vast en laat deze klinken.
2. *Wat hoor je en hoe komt dat?*
3. Pak de staaf dan op een kwart van de lengte vanaf de bovenkant vast

- 
4. *Kunnen jullie voorspellen of je nu een hogere, een lagere of dezelfde toon zult horen? (PEOE).*
  5. In een klassengesprek is het de bedoeling dat de leerlingen gaan begrijpen dat dit met knopen en buiken te maken heeft en met boventonen.
  6. Daarna kun je nog een of twee keer een andere plek voor vasthouden kiezen.
  7. Controlevraag: *Wat zul je horen als je de staaf aan een van de uiteinden vasthoudt en laat klinken?*

### Natuurkundige achtergrond

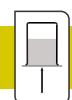
Door het aanslaan van de staaf aan een uiteinde (bijvoorbeeld tegen de tafel), ontstaan er veel verschillende trillingen in de staaf. Door de staaf in het midden vast te houden, ontstaat daar een knoop, waardoor alleen trillingen met een knoop in het midden overblijven. De trillingen met een hogere frequentie dempen sneller. Daardoor hoor je de relatief lage grondtoon het best. Soms moet je even wachten op uitdoven van de boventonen.

Door de staaf op een kwart lengte vast te houden, past er als grondtoon een trilling met een gehele golflengte op, dus met een octaaf hogere toon als gevolg.

### Tips

- Klem de staaf niet al te vast, want dan is de demping te sterk.
- Meet de frequenties met een computer of de phyphox-app.

## FASEVERANDERING 1



Docent ademt uit. *Zien jullie wat? Niets?* Docent ademt uit op het raam. Nu vormt zich een vlek van waterdamp op het raam. Haal je vinger erdoorheen en het voelt nat. Waterdamp uit de longen is gecondenseerd op het koude raam. Docent doet het nog eens, wacht even en kijkt hoe de vlek steeds kleiner wordt. De waterdruppeltjes op het raam verdampen weer. Als het raam vanwege het dubbelglas minder goed werkt, probeer dan uitademen op een glas kraanwater.

## B39 ZINGENDE STAAF



Tonen en boventonen



bovenbouw HV

Deze demonstratie maakt, als je het goed uitvoert, veel lawaai op een irritante toonhoogte. Een demonstratie die leerlingen zeker niet vergeten. Door de juiste posities op de staaf te kiezen kun je zelfs twee boventonen 'spelen'. Metingen aan de frequentie zijn eenvoudig en de link naar de natuurkunde van muziekinstrumenten is snel gelegd.

### Nodig

Rolmaat; aluminium staaf (ruim 1 m lang); fijn schuurpapier of een hamer; viltstift of potlood; geluidssensor met Coach 7 of phyphox-app (Audio spectrum).

### Voorbereiding

Geef met een streepje op de staaf aan waar het midden is en waar een kwart lengte zit van boven. Zorg dat je een korte tijd kunt meten met een hoge meetfrequentie. Oefen van tevoren hoe je een hoog geluidsniveau kunt bereiken. Wrijf in het juiste tempo en druk niet te hard op het schuurpapier.



*Houd de staaf in het midden vast voor de grondtoon.*

### Uitvoering

1. Houd de staaf in het midden losjes vast. Wrijf met het fijne schuurpapier langs de staaf totdat de staaf gaat zingen (piepen/janken). Door in het juiste tempo te wrijven kun je een redelijke geluidssterkte bereiken. Een korte tik met een hamer op de staaf geeft ook een mooie toon.
2. Draai de staaf rond en vraag de leerlingen waar het geluid van de staaf precies vandaan komt.
3. *Hoe kun je het 'zingen' stoppen?* Laat de leerlingen met die informatie nadenken of het trillen van de staaf longitudinaal of transversaal is en hoe je dit kunt nagaan.
4. Houd de staaf losjes vast op een kwart van de bovenkant van de staaf. Wrijf met het fijne schuurpapier langs de staaf totdat de staaf gaat zingen (piepen/janken). Door in het juiste tempo te wrijven kan weer een hoge geluidssterkte bereikt worden. (Werkt het wrijven niet? Geef dan een tik met een hamer op de staaf.)



*Houd de staaf op een kwart lengte van boven vast voor de eerste boventoon.*

5. Hoe verschilt deze toon van de eerste toon die je gehoord hebt?
  6. Waarom moet je de staaf op een andere plek vastpakken om deze toon te horen?
  7. Meet de frequentie van de tonen met Coach 7 of phyphox en bepaal de geluidssnelheid in de staaf. De staaf heeft twee open uiteinden.
  8. Laat de leerlingen de trillingstoestanden van de staaf bij de grondtoon en boventoon schetsen.
  9. Een geoefende demonstrateur kan zelfs een tweede boventoon laten horen.
- Controlevragen: *Waar moet je dan de staaf vasthouden? Welke toon dmp je dan?*

### Natuurkundige achtergrond

Door te wrijven met een schuurpapiertje gaat de staaf zowel transversaal als longitudinaal trillen. Dat is eenvoudig aan te tonen door de staaf te laten 'zingen' en dan te dempen. Dit dempen gaat zowel bij de uiteinden in de lengterichting als door de staaf vasthouden (breedterichting). De staaf trilt in beide richtingen.

Bij de grondtoon is er in het midden een knoop en aan de uiteinden een buik. De golflengte is dus tweemaal de lengte van de staaf. De bijbehorende frequentie kun je uitrekenen met:

$$f = \frac{n \cdot v_{AI}}{2l}$$

De geluidssnelheid in de staaf kun je uitrekenen met:

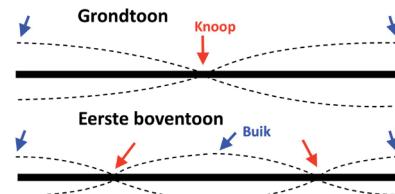
$$v = \sqrt{E/\rho}$$

Hierin is  $E$  de elasticiteitsmodulus van het gebruikte materiaal (71 GPa voor aluminium) en  $\rho$  de dichtheid van de staaf. De andere kant op werken kan natuurlijk ook, waarbij je de gemeten frequentie gebruikt om de elasticiteitsmodulus van het materiaal te bepalen.

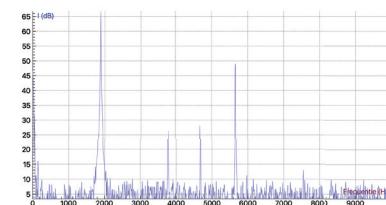
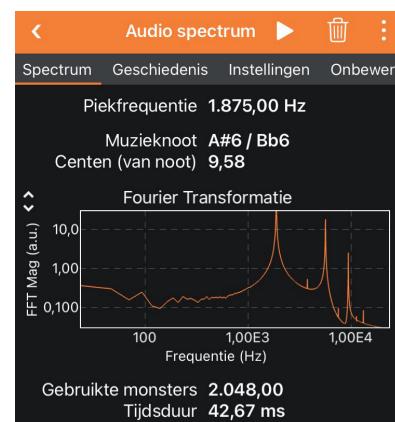
'Speel' je de boventoon dan zitten de knopen op een kwart en driekwart lengte van de staaf.

### Tips

- Belangrijk is de plaats waar je moet vasthouden, halverwege of op een kwart. Wrijf onderaan de staaf in een korte snelle beweging. Een hamer als trillingsbron is handig als je een staaf met grote dichtheid hebt. Bij het 'spelen' van de grondtoon vind je met een analyse-tool ook de tweede boventoon, maar niet de frequentie van de eerste boventoon. Waarom dat is, kun je ze laten uitleggen met behulp van de derde afbeelding.
- Coach 7 met een korte tijd ( $\approx 2$  s) en een meetfrequentie van ongeveer 2 kHz om zo nauwkeurig mogelijke fourieranalyse te kunnen doen.
- Phyphox (Audio spectrum) geeft snel een gemeten frequentie. De hogere boventonen zijn zichtbaar, maar de bijhorende piekwaarden zijn niet af te lezen. Exporteer de meting uit phyphox naar Excel.



De transversaal getekende grondtoon en de eerste boventoon

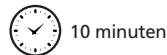


Resultaten van audiospectrum meting met phyphox en met Fourieranalyse in Coach 7

## B40 TRANSIT VAN EEN BOLLETJE



Planeetovergangen simuleren

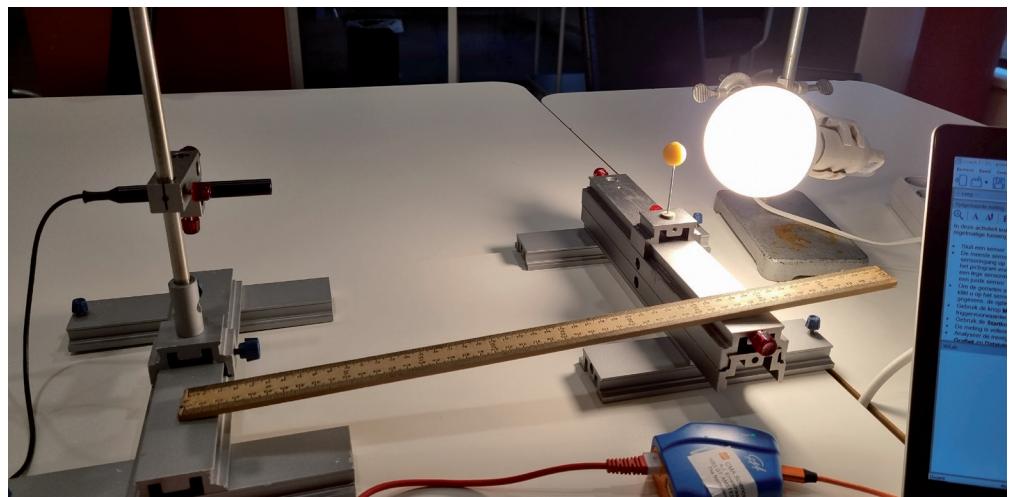


10 minuten



bovenbouw HV

Een transit van een exoplaneet is een-ver-van-mijn-bed-show voor veel leerlingen. Met een relatief eenvoudige opstelling kun je je leerlingen enigszins laten beleven hoe zo'n waarneming in zijn werk gaat. De berekeningen zijn wel weer te extrapoleren naar het 'echte' werk.



De opstelling om een transit te meten

### Nodig

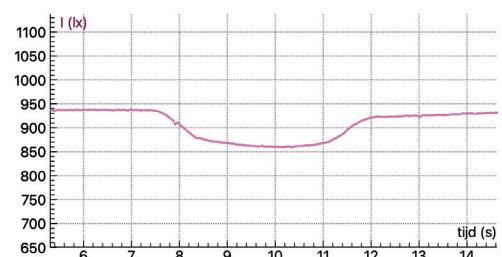
Ledlamp (grote opaallamp) in houder; rolmaat; schuifmaat; lichtsensor; bolletje in een ruiter van een opticaset.

### Voorbereiding

Lijn de opstelling uit zodat lichtsensor, bolletje en opaallamp op één lijn staan.

Verduister het lokaal. Sluit de lichtsensor aan op een interface en start Coach 7.

Zorg dat de hoeveelheid licht van de lamp de lichtsensor niet overstraalt. Verander dan de afstand tussen de lichtsensor en de lamp. Zorg voor een bolletje met een diameter van ongeveer 1/5 of kleiner van de diameter van de lamp. Toon het computerscherm via een beamer of Digibord.



De lichtdip van de transit

## **Uitvoering**

1. Start de meting in Coach 7. Beweeg de ruiter met het bolletje met constante snelheid voor de lamp langs. Stop de meting.
  2. Vergroot de lichtdip in de grafiek door met de muis te zoomen. Zie figuur 2.
  3. *Hoe kun je zien hoelang de transit duurt?*
  4. Vraag de leerlingen om te schetsen hoe de transitcurve eruitziet als de planeet langzamer/sneller beweegt.
  5. Vraag de leerlingen om te schetsen hoe de transitcurve eruitziet als de planeet groter/kleiner is.
  6. Geef de onderstaande formule en vraag de leerlingen om deze toe te passen op de situatie. Geef de diameter van de lamp. Hierin is  $H$  de helderheid of intensiteit van het opgevangen licht.
- $$\frac{H_{\text{dip}}}{H_{\text{ster}}} = 1 - \left( \frac{r_{\text{planeet}}}{R_{\text{ster}}} \right)^2$$
7. Laat de leerlingen de straal van de planeet berekenen met de formule.
  8. Controlevraag: *In welke opzichten wijkt deze demonstratie af van het in het echt waarnemen van exoplaneten?*

## **Natuurkundige achtergrond**

In deze opstelling simuleer je een transit van een exoplaneet met een bolletje voor een opaallamp. De lamp zal in tegenstelling tot de 'echte' ster ter plaatse van de 'planeet' een divergerende bundel licht hebben. Ook de verhoudingen zijn niet op de schaal van de 'echte' situatie. Desondanks krijg je een aardige dip in de lichtsterkte, die te gebruiken is om het idee van een meting van een transit te verduidelijken. De gebruikte lichtsensor heeft een ruimtemeethoek van 50 graden en zal daardoor op deze afstand een groot deel van het licht van de opaallamp kunnen meten. Dat verklaart de relatief grote dip die je meet.

Een exoplaneet zal bij een overgang een gering deel van het licht van zijn ster blokkeren, zodat zeer geavanceerde apparatuur een dip in de lichtintensiteit kan meten. Het opgevangen sterlicht is evenwijdig. Door meerdere opeenvolgende dips te meten kun je hieruit de baanperiode van de planeet afleiden. Doordat de massa en lichtkracht van een ster bekend zijn kun je met de derde wet van Kepler de baanstraal van de exoplaneet afleiden en daarna de massa, dichtheid en gravitatieversnelling. Omdat je in sommige gevallen ook een absorptiespectrum van de atmosfeer kunt meten, is zelfs een samenstelling van de gassen in de atmosfeer van de planeet te bepalen. Opgaven over exoplaneten en transits zijn al een aantal keer in het examen natuurkunde (HAVO 2010-1, 2019-2, 2022-3) aan de orde geweest.

## **Tips**

- Wij hebben een led-opaallamp van 8 W en een diameter van 95 mm gebruikt. Let erop dat de ledlamp niet knippert. Check dit met de slow-motion-camerastand van een telefoon. Onze planeet was een bolletje met diameter 18 mm. De lichtsensor BT50i hebben wij ingesteld op 1500 Lux.
- De opstelling met de ruiter weerkaatst ook licht van de lamp, waardoor de nul helderheid ( $H_0$ ) iets hoger is. Probeer alles wat licht kan weerkaatsen af te dekken. Schuif eventueel een pvc-buis over de lichtsensor om strooilicht te voorkomen.

## B41 ZWART OF WIT



*Verschillen tussen opwarmen en afkoelen*

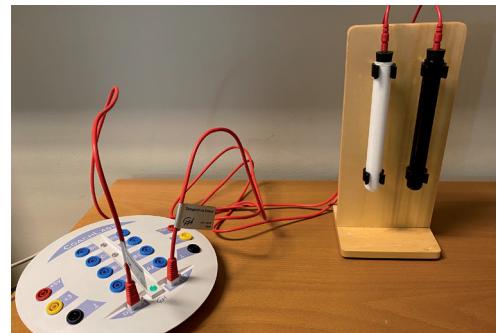
15-30 minuten

bovenbouw/ onderbouw

Een eenvoudige demonstratie van opwarmen en afkoelen van een zwarte en een witte reageerbuis. Bij het opwarmen geven de leerlingen veelal een goede voorspelling. Bij het afkoelen zullen zij zich veelal laten leiden door de stelling 'sneller opwarmen zal ook wel sneller afkoelen'. Die stelling gaat echter niet op.



*De witte en zwarte reageerbuis in de houder beide verwarmd door de gloeilamp*



*De reageerbuizen gevuld met warm water en temperatuursensoren aangesloten op een CoachLabII+*

### Nodig

Witte en zwarte reageerbuis in een houder (bijvoorbeeld omgeven met wit en zwart papier); een gloeilamp ( $> 40\text{ W}$ ) of een halogeenspot met een hoog vermogen; 2 temperatuursensoren; CoachLab en computer; twee rubberen stoppen met gat; waterkoker; maatcilinder om 20 mL water af te meten.

### Voorbereiding

Deel 1: Zet de gloeilamp op ongeveer 20 cm afstand voor de reageerbuizen. Steek de temperatuursensoren door de rubberen stoppen en plaats ze in de reageerbussen. Sluit de temperatuursensoren aan op een Coach interface. Stel in Coach 7 een meting van 10 minuten in.  
Deel 2: Verwarm water in een waterkoker. Giet het warme water in de maatcilinder. Giet 20 mL water in elke reageerbuis. Stop de temperatuursensoren in de reageerbussen.

### Uitvoering

Deel 1:

1. Geef een introductie op de proef. Je kunt vertellen over absorptie van licht door verschillend gekleurde objecten.
2. *Voorspel in welke reageerbuis de lucht het snelste opwarmt en waarom.*
3. Bespreek de resultaten met de leerlingen.

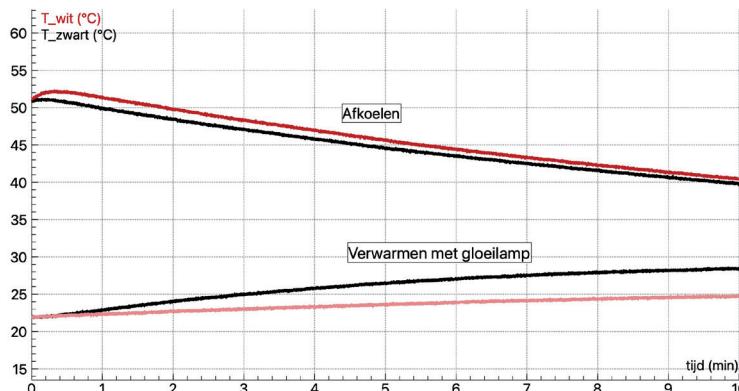
## Deel 2:

4. Leg uit dat je de reageerbuis nu gaat vullen met warm water en dan de afkoeling gaat meten.
5. *Voorspel in welke reageerbuis het water het snelst afkoelt en waarom.*
6. Voer de proef uit.
7. Bespreek de uitkomsten van de proef met de leerlingen.
8. Controlevraag: *Maakt het uit welke kleur de radiatoren in een huis hebben?*

### Natuurkundige achtergrond

In het infrarood zullen zowel de witte als zwarte verf evenveel straling absorberen. Omdat de zwarte reageerbuis in het zichtbare deel meer straling absorbeert zal deze sneller in temperatuur stijgen.

Als objecten ir-straling gaan uitzenden is het heel ander verhaal. De emissiviteit van een object bepaalt hoe goed het object ir-straling kan uitzenden. Aangezien de emissiviteit van witte en zwarte verf nagenoeg gelijk is zullen ze evenveel ir-straling uitzenden en dus even snel afkoelen. (Bartels, 1990)



*Opwarmen en afkoelen van de twee reageerbussen.  
Bij het afkoelen is de witte reageerbuis iets warmer, maar de afkoelingskromme is vrijwel identiek aan die van de zwarte reageerbuis.  
Om het verschil van afkoelen duidelijk zichtbaar te maken is de (T,t)-grafiek van de witte buis iets eerder gestart.*

### Tips

- Je kunt video-streamen met de FLIR-ir-camera zodat er ook duidelijk te zien is dat de reageerbussen in temperatuur verschillen in deel 1 en ongeveer gelijk van temperatuur zijn en blijven in deel 2 (zie de figuur).
- Gebruik een halogeenspotje of een lampenkap om het licht beter te richten anders verblind je de leerlingen en zien ze de proef niet zo duidelijk.



*De afkoelende reageerbuisbuizen stralen evenveel in het infrarood.*

### Bron

Bartels, Richard A., *Do darker objects really cool faster?*, American Journal of Physics 58, 244 (1990)

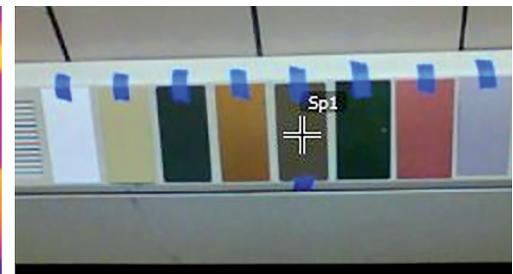
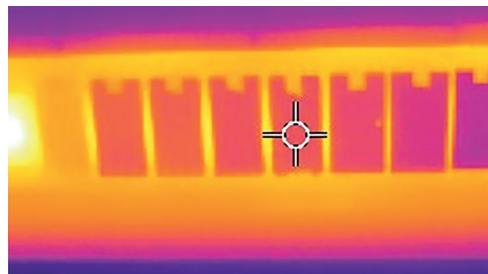
## B42 EMISSIE IN INFRAROOD



20-30 minuten

bovenbouw HV

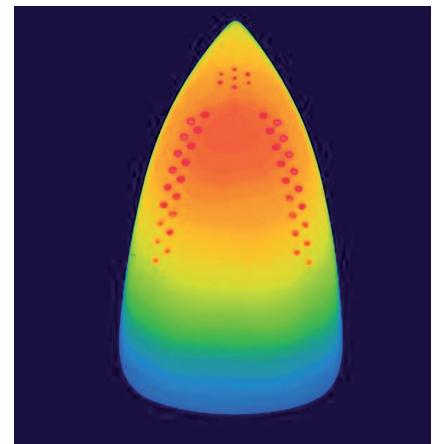
Warmer oppervlakken verschillen in hoeveel infraroodstraling ze uitzenden. Leerlingen zijn verrast dat materialen met dezelfde temperatuur een verschillende waarde in de camera krijgen. In deze demonstratie gebruiken we een infraroodcamera om de emissiegraad van verschillende materialen te onderzoeken.



*Verschillende voorwerpen met dezelfde temperatuur die met een andere intensiteit in het ir-gebied stralen. Ze krijgen dus een andere temperatuur door de camera toebedeeld. De materialen zijn op een kachel geplakt.*

### Nodig

Infraroodcamera (Flir C5), verschillende materialen (met dezelfde afmetingen); conservenblik of glanzende rvs-beker; isolatie- of ducttape; (eventueel) Leslie kubus; stoomstrijkijzer; temperatuursensor.



*Het oppervlak van een stoomstrijkijzer in infrarood*

### Voorbereiding

Plak verschillende materialen (zoals karton, plastic, papier) op een kachel of kookplaat. Zet de kachel een tijdje aan, zodat de materialen dezelfde temperatuur hebben. Vul de Leslie kubus met heet water.

Plak een stukje isolatietape op een glanzend conservenblik of rvs-beker.

### Uitvoering

1. Leerlingen hebben al kennis van ir-straling en de wet van Stefan-Boltzmann. Zorg dat ze begrijpen dat temperatuur en warmte verschillende concepten zijn.
2. Laat de opstelling met de zelf geplakte materialen op een kachel (of de Leslie kubus) zien. Sluit de ir-camera in streaming modus aan op je computer.
3. Voer de meting uit. Gebruik de beweegbare temperatuurspot op het touchscreen om de temperatuur van elk object (of elke kant van de Leslie kubus) uit te laten

- lezen door de ir-camera.
4. *Hebben de vlakken echt een verschillende temperatuur?*
  5. Zet het stoomstrikijzer aan en laat dit opwarmen. Fotografeer het oppervlak van het stoomstrikijzer in ir. (Zorg dat je alleen ir-modus aan hebt staan en geen MSX, en beperk het temperatuurgebied waarin je meet.)
  6. *Waardoor hebben de gaatjes een hogere temperatuur dan het strijkvlak?*
  7. Plak een stukje isolatietape op een conservenblik en bekijk de temperatuur van het blik met de ir-camera nadat je er heet water in hebt gedaan. Vergelijk de temperatuur van de wand van het blik met de temperatuur van het stukje tape.
- Controlevraag: *Wat is een mogelijke verklaring?*

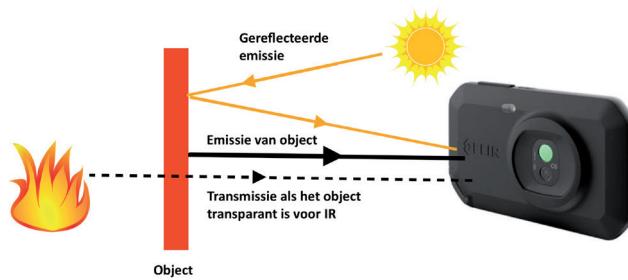
### Natuurkundige achtergrond

Emissiegraad is een maat voor hoe efficiënt een voorwerp warmte uitstraalt, met andere woorden hoe goed het oppervlak van een voorwerp ‘de waarheid vertelt’ over zijn temperatuur. Emissiegraadwaarden lopen van 0 (een theoretisch perfecte spiegel die alle energie weerkaatst) tot 1 (een theoretisch object, een zwarte straler, dat alle energie perfect absorbeert en uitstraalt). De emissiegraadwaarden 0 en 1 kunnen alleen in theorie worden bereikt: in werkelijkheid kunnen fysieke objecten beter worden beschreven als waarden die variëren van 0,01 tot 0,99 op de emissiegraadschaal.

Hoogglans gepolijste metalen oppervlakken, zoals koper of aluminium, hebben gewoonlijk een emissiegraad van minder dan 0,10. Geruwde of geoxideerde metalen oppervlakken hebben een veel hogere emissiegraad (0,6 of meer, afhankelijk van de toestand van het oppervlak en de mate van oxidatie). De meeste verfsoorten met een vlakke afwerking hebben een emissiegraad van ongeveer 0,90, terwijl de menselijke huid en water een emissiegraad van ongeveer 0,98 hebben.

Doordat we in deze demonstratie verschillende materialen van gelijke temperatuur bekijken, zien we dat verschil in emissiegraad goed. De ir-camera kent aan objecten die meer stralen een hogere temperatuur toe. De gaatjes in het stoomstrikijzer hebben een emissiegraad van bijna 1 en krijgen dus een hogere temperatuur tobedeeld. De gaatjes in het strijkijzer zijn (bijna) equivalent aan een perfecte zwarte straler.

In de praktijk meet de ir-camera drie soorten ir-straling die van het gekozen object afkomen (zie figuur). Omdat de omgevingstemperatuur veel lager is dan het strijkijzer en het strijkijzer niet transparant is voor ir, kunnen we ervan uitgaan dat we alleen de ir-straling van het strijkijzer zelf meten.



Waarnemen van ir-straling door de ir-camera.

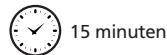
### Tip

Projecteer de meting via de computer op een scherm of digibord. Zorg dat de temperatuur goed te volgen is door bijvoorbeeld een temperatuurspot van de camera op de te meten plek te richten. De FLIR C5 camera is ook in een handmatig temperatuurbereik in te stellen, zodat de kamertemperatuur niet zichtbaar is (zoals bijvoorbeeld in de figuur met het strijkijzer).

## B43 KLEUREN ONDER GEKLEURD LICHT



Alledaagse voorwerpen onder gekleurde lampen



15 minuten

onderbouw

In de onderbouw is licht een geliefd onderwerp om verwondering bij leerlingen op te roepen. In deze demonstratie gebruiken we geschikte kleding (T-shirts) om leerlingen kennis te laten maken met het 'veranderen' van kleuren onder een gekleurde lichtbron.

### Nodig

Een lichtbron die verschillende monochromatische kleuren (Rood, Groen of Blauw en hun mengkleuren, Geel, Cyaan en Magenta) kan geven.  
Geschikte voorwerpen: kleding; melkpakken of frisdrankblikjes; geprinte kleurenafbeeldingen met geschikte RGB-waarden.



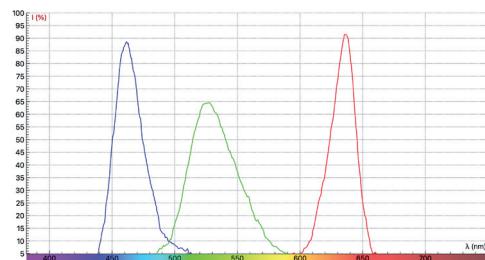
T-shirts met rood of blauw, wit en zwart zijn geschikt.

### Voorbereiding

Zet de lichtbron zo neer dat deze gericht kan worden op de voorwerpen. Hang of zet je voorwerpen goed zichtbaar opgesteld neer. Verduister het lokaal. Leerlingen hebben al les gehad over kleurtheorie en licht.

### Uitvoering

1. Leg uit dat je een lamp hebt die meerdere monochromatische kleuren heeft, die apart en samen aan kunnen.
2. Plaats een gekleurd T-shirt (of voorwerp) in wit licht.
3. *Waarom heeft het T-shirt deze kleuren?*
4. Vertel dat je nu het witte T-shirt met de rode kleuren in rood licht gaat houden.
5. *Wat zal je gaan zien?* (Je kunt de leerlingen gekleurde tekeningen laten maken van hun voorspelling.)
6. Doe de demonstratie. Bespreek de uitkomst.
7. Vertel dat je nu het witte T-shirt met de rode kleuren met blauw licht gaat beschijnen.
8. *Wat zal je gaan zien?* (Als je mengkleuren van licht hebt besproken kan het zijn dat leerlingen de mengkleur van blauw en rood (= magenta) zullen noemen.)
9. Beschijn het T-shirt met het blauwe licht. Bespreek de uitkomst.
10. Herhaal de proef met een wit T-shirt met blauwe en zwarte kleuren. Start dan met blauw licht en daarna rood licht.
11. Herhaal de proef met de mengkleuren van de lichtbron: geel, cyaan en magenta.



De spectra van de monochromatische RGB-ledlamp.

Groen overlapt een beetje met blauw.

Laat de leerlingen steeds voorspellen wat ze zullen zien.

12. Controlevraag: *Een politieagent ziet 's avonds een verdachte, gele auto staan onder een geel straatlicht. Welke kleuren kan de auto in zonlicht allemaal hebben?*
13. Controlevraag: *Waarom zal een eigenaar van een kledingwinkel nooit monochromatische lichtbronnen ophangen, maar kiezen voor een lamp die zo goed mogelijk de kleuren van de zon uitstraalt?*

#### Natuurkundige achtergrond

De kleurentheorie in de onderbouw stelt dat licht met een bepaalde golflengte kan worden weerkaatst door een voorwerp en deze kleur wordt dan waargenomen door de kegeltjes op ons netvlies. Aangezien mensen drie soorten kegeltjes (gevoelig voor rood, groen en blauw) hebben kunnen we deze drie kleuren, de mengkleuren en meerdere tinten van die drie kleuren waarnemen. Als een voorwerp rood is weerkaatst het vooral rood licht en dus zien we dat voorwerp als rood in wit licht. Witte voorwerpen kunnen alle kleuren licht terugkaatsen en zwarte voorwerpen absorberen alle kleuren licht. Een rood voorwerp in blauw licht absorbeert het blauwe licht en zien we dus als zwart. Een lichtbron met de kleur geel zal rood en groen licht uitzenden, dus een rood voorwerp in geel licht zal als rood waargenomen worden.



De T-shirts onder verschillende kleuren

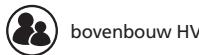
#### Tips

- Leuk is het om een shirt, voorwerp of gekleurde afbeelding achter de hand te hebben. Laat deze in het gekleurde licht van een lamp zien en laat de leerlingen uitleggen welke kleur(-en) het in wit licht heeft. Draag zelf een wit kledingstuk (bijvoorbeeld een labjas).
- Soms hebben led-lichtbronnen wat overlap tussen groene en blauwe spectrum of groene en rode spectrum. Zie 2<sup>e</sup> figuur op de vorige bladzijde. Een groen voorwerp zal daardoor minder goed zwart worden onder een blauwe of rode lichtbron.
- Onze ledlamp is bij de Action gekocht. Voor intens, instelbaar RGB-licht zijn ook PAR ledlampen geschikt.

## B44 LICHTSNELHEID IN EEN VLOEISTOF



Gebruik van de LiDAR-sensor



Moderne telefoons hebben een LiDAR-sensor, waarmee je de afstand tot voorwerpen kunt meten. De LiDAR-sensor is gemaakt om alleen in lucht te meten. De lichtsnelheid in een transparante stof is anders en dus is de gemeten afstand anders. Je kunt deze 'meetfout' gebruiken om de lichtsnelheid in een transparante vloeistof te bepalen.

### Nodig

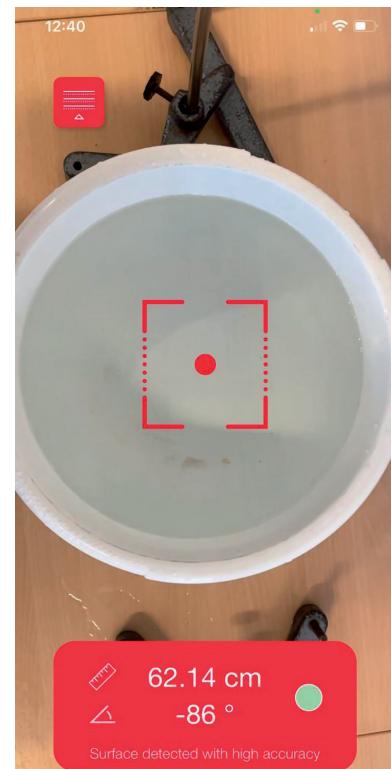
Smartphone met LiDAR-sensor (iPhone 12 of hoger) en een LiDAR-app (phyphox) of bijvoorbeeld LiDAR-pointer; statief; pan; vloeistof (bijvoorbeeld water); rolmaat.

### Voorbereiding

Plaats de telefoon in de statieven boven de pan met water. Zorg dat de telefoon perfect horizontaal hangt. Dat is te controleren met de app die de helling aangeeft. Plaats een pan recht onder de LiDAR-sensor van de telefoon (zie figuur). Zorg ervoor dat LiDAR-sensor recht op het midden van de pan gericht is. Controleer de afstandmeting van de telefoon tot de bodem van de pan met een rolmaat.



LiDAR-sensor op de telefoon



Screenshot LiDAR-app

### Uitvoering

1. Geef wat uitleg over de werking van echo en sonar. Leg uit dat dit ook werkt met onzichtbaar laserlicht. Bijvoorbeeld bij snelheidscontroles van de politie.
2. Leg de demonstratie uit. Geef aan dat je een afstandsmeting met een telefoon met en zonder water gaat doen.
3. Geef een tekening op het bord, zoals bijvoorbeeld op de volgende bladzijde.
4. Leg uit hoe de LiDAR-sensor zorgt voor een afstandsmeting.
5. Leg uit dat je water in de pan gaat gieten en dan nog eens de afstand gaat meten.
6. Laat de leerlingen voorspellen wat het effect van water in de pan op de meting zal zijn.
7. Giet het water voorzichtig in de pan. Zorg dat het water tot stilstand is gekomen. Neem een waterhoogte van 5-8 cm.

8. Voer de meting uit en noteer de gemeten afstand op de telefoon met (S4) en zonder water (S1). Noteer de hoogte van de telefoon tot het wateroppervlak (S2). Meet de diepte van het water (S3).
9. Bereken met de gegeven lichtsnelheid van licht in lucht, de lichtsnelheid in water.
10. Herhaal de demonstratie eventueel met een andere waterhoogte en voer de berekening nog eens uit.
11. Controlevraag: Als we in plaats van water dezelfde hoeveelheid van een andere transparante vloeistof met een hogere dichtheid in de pan zouden gieten, wat zou de LiDAR sensor dan aangeven?
  - Een kortere afstand dan bij water.
  - Een langere afstand dan bij water.
  - Dezelfde afstand als bij water.

### Natuurkundige achtergrond

LiDAR is een technologie die de afstand tot een object of oppervlak bepaalt met laserpulsen. LiDAR werkt volgens hetzelfde principe als radar. De LiDAR-sensor bepaalt afstand tot het object of oppervlak door de tijd te meten die verstrijkt tussen het uitzenden van een puls en het opvangen van een reflectie van die puls.

De laserpulsen zullen in het water langzamer reizen:

$$n_{l \rightarrow w} = \frac{c_{\text{lucht}}}{c_{\text{water}}}$$

Deze langere reistijd resulteert in een foutieve gemeten afstand (S4) van de afstand van de LiDAR-sensor tot de bodem van de pan.

De lichtsnelheid in het water berekenen we met de tijd die laserlicht in het water verblijft. Zie Kuhn, J. & Vogt, P. (2022):

$$t_{\text{water}} = t_{\text{gemeten}} - t_{\text{lucht}}$$

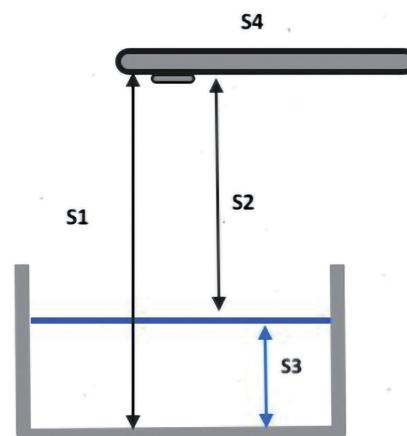
$$t_{\text{water}} = \frac{S4}{c_{\text{lucht}}} - \frac{S2}{c_{\text{lucht}}}$$

$$c_{\text{water}} = \frac{S3}{t_{\text{water}}}$$

Afhankelijk van de metingen vinden we afwijkingen van de literatuurwaarde voor  $c_{\text{water}}$  tussen 0,5 – 10%.

### Tips

- Afhankelijk van het vermogen van de LiDAR-sensor kan de diepte van het water niet te groot worden. Er treedt dan vermogensverlies op, houdt een diepte tussen 5-8 cm aan.
- Zorg dat de telefoon goed vastzit, deze kan in het water vallen.



*S1 is de echte afstand tussen telefoon en bodem van de pan, S2 is de afstand tussen telefoon en wateroppervlak. S3 is de waterdiepte. S4 is de gemeten afstand door de app.*

### Bron

Kuhn, J. & Vogt, P. (2022) *Measuring the speed of light in liquids with a smartphone*, Phys. Teach. 60, 516 (2022)

## B45 SPECTRA



10 minuten

bovenbouw HV

Spectra komen prominent voor in het examenprogramma. Neem diverse lichtbronnen zoals: uv-, ir-, gloei- en ledlampen. Leerlingen zijn erg verrast wanneer ze de gemeten spectra van die lampen achter elkaar zien. Ze kunnen na het zien van zo'n spectrum goed uitleggen waarom een bepaalde lamp een bepaald spectrum uitzendt.



Het glasvezelsnoer van de spectrometer gericht op een kaarsvlam.



De spectrometer meet het spectrum van een dokalamp.

### Nodig

Spectrometer; meetsoftware; eventueel een regelbare spanningsbron; diverse lichtbronnen (kaars, dokalamp, warmtelamp, gloeilamp, spaarlamp, ledlampen met verschillende kleuren).

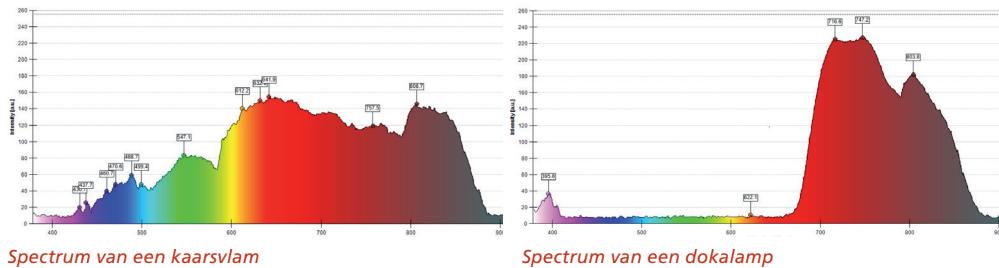
### Voorbereiding

Zet verschillende lichtbronnen klaar op je bureau. Zorg dat de leerlingen de lichtbronnen goed kunnen zien. Sluit de spectrometer aan op de computer en start de meetsoftware in 'livemode' en 'kleuren onder de grafiek'. Zorg voor een statief waarin je de glasvezelkabel van de spectrometer kunt klemmen en test de juiste afstanden bij de lichtbronnen zodat de spectrometer niet oververzadigd raakt door de intensiteit van de lichtbron. Projecteer het gemeten spectrum op een digibord of scherm.

### Uitvoering

1. Leg uit wat een spectrometer kan meten en hoe dat door de computer wordt uitgelezen.
2. Meet het spectrum van een kaarsvlam en laat het spectrum zien.
3. Zet de warmtelamp aan en laat de leerlingen voelen en zien wat voor licht de lamp uitzendt. Meet het spectrum van de warmtelamp. Laat de leerlingen uitleggen wat dit spectrum geschikt maakt gezien de functie van de lamp.

4. Toon een brandende gloeilamp en meet het spectrum van de gloeilamp. Laat de leerlingen voorspellen hoe het spectrum van de gloeilamp zal veranderen als de lamp feller of minder fel brandt. Varieer de spanning en controleer de voorspellingen.
5. Toon een brandende spaarlamp en meet het spectrum van de spaarlamp. Vraag waardoor de spaarlamp efficiënter is dan de gloeilamp.
6. Toon een brandende dokalamp. Leg uit dat deze lampen worden gebruikt bij het ontwikkelen van foto's in 'donkere kamers'.  
Meet het spectrum nog niet maar vraag aan leerlingen om het spectrum te tekenen wat ze verwachten dat de dokalamp zal geven. Geef eventueel als hint aan de leerlingen wat de frequentiegevoeligheid is van fotopapier. Meet het spectrum van de dokalamp en vergelijk het met de antwoorden van de leerlingen.
7. Meet de spectra van Led lichtbronnen die primaire en of secundaire kleuren uitzenden. Laat de leerlingen voorspellen hoe het spectrum van bijvoorbeeld een gele lichtbron eruitziet.
8. Controlevraag: *Welke overeenkomsten zouden er moeten zijn tussen de spectra van een dokalamp en een infraroodlamp? Welke verschillen?*



### Natuurkundige achtergrond

In de spectrometer valt het licht na een tralie op een CMOS-chip waarvan de locatie op de chip die belicht wordt correspondeert met een golflengte. De CMOS-chip is zo gemaakt dat deze chip precies het menselijk oog imiteert. Dus de kleurgevoeligheid van het menselijk netvlies. Met de eenvoudige spectrometer van deze demonstratie zien we dus ook plekken in het spectrum waar de CMOS-chip minder gevoelig is. Die "valleys" zijn met name te zien in de overgang van blauw naar groen en van groen naar rood en zichtbaar in continue spectra.

Met deze spectrometer is wel kwalitatief een spectrum te maken, waarmee leerlingen in principe kunnen begrijpen hoe het licht van een lichtbron past bij zijn functie en hoe je bijvoorbeeld een efficiënte lamp voor een bepaalde situatie kunt ontwerpen. De kaarsvlam en de gloeilamp geven een continu spectrum. De andere lichtbronnen hebben een andere werking en een daarbij passend spectrum. De dokalamp is leuk omdat deze in het zichtbare deel van het spectrum bijna geen licht uitzendt, zodat fotopapier niet verder te belicht wordt tijdens ontwikkeling.

### Tips

Installeer voor een livespectrum de software van Kvant (Zoek op internet op spectrometer en Kvant). Voor een 'still' meting van een spectrum kan ook met Coach 7 gemeten worden.

### Bron

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/colcon.html#c1>

## B46 BALLETJE IN EEN BUIS



30 minuten

bovenbouw/onderbouw

Een demonstratie die zijn entree waarschijnlijk zowel in de onderbouw en als in de bovenbouw zal maken. In de onderbouw om geluid als trilling inzichtelijk te maken en de begrippen frequentie en amplitude uit te leggen. In de bovenbouw om te dienen als een analogie voor het foto-elektrisch effect. Het maakt grootheden als uittre-energie, kinetische energie en grensfrequentie aanschouwelijk.

### Nodig

Kraal of pingpongballetje; doorzichtige buis; speaker (bijvoorbeeld een JBL-variant); toongenerator.

### Voorbereiding

Plaats de doorzichtige buis over de speaker en verbind een geluidsbron met de speaker. Zorg dat de buis geen contact maakt met de conus van de speaker.

Kies in de onderbouw een liedje, dat rustig begint en waar de bass na een tijdje lekker opkomt. Gebruik daarna de toongenerator met een frequentie die een mooie stuiter van het balletje tot gevolg heeft.

De voorbereiding in de bovenbouw (analogie met het foto-elektrisch effect) is dat je een veelvoud aan frequenties moet instellen. Noteer de geluidssterkte waarbij het balletje redelijk hoog komt bij 100 Hz.



### Uitvoering onderbouw: geluid is een trilling met frequentie en amplitude

1. Plaats het balletje in de doorzichtige buis op de speaker. Speel muziekje af. Laat de leerlingen waarnemen.
2. *Waardoor stuift het balletje?*
3. Speel een zuivere frequentie door de speaker. Bekijk de bal in de buis. Verander de frequentie naar hoger of lager en laat leerlingen verschillen en overeenkomsten noteren.
4. Neem een frequentie waar de bal goed stuift en verhoog of verlaag de amplitude (geluidssterkte) van de speaker. Laat de leerlingen voorspellen wat ze gaan zien.
5. Controlevraag: *Wat gebeurt er met het balletje, als de speaker met een heel hoge (onhoorbaar) frequentie trilt?*

*Stuiterend balletje in een buis  
boven een JBL speaker*

### Uitvoering bovenbouw: foto-elektrisch effect analogie

1. Kies een aantal frequenties (bij een vaste geluidssterkte) en zet een streepje bij de maximale hoogte die bal of kraal bereikt.

2. Noteer de meetwaarden in een tabel en teken de grafiek in een diagram met verticaal de hoogte en horizontaal de frequentie.
3. Bespreek de analogie met het foto-elektrisch effect. Zie natuurkundige achtergrond.
4. Controlevraag: *Waarom gaat de analogie niet op als de geluidssterkte niet constant zou zijn per frequentie?*

### Natuurkundige achtergrond onderbouw

De speaker trilt en geeft deze trilling door aan het balletje, dat op en neer gaat bewegen. De amplitude van het geluid bepaalt hoe heftig de conus van de speaker heen en weer trilt en dus de geluidsterkte, dit zien we terug in hoe hoog het balletje gemiddeld komt.

De frequentie is hoe vaak de conus trilt en bepaalt de toonhoogte van het geluid, het balletje zal bij hogere tonen sneller op en neer gaan bewegen.

### Natuurkundige achtergrond bovenbouw

Barretto (2022) heeft deze proef bedacht en uitgevoerd en ook duidelijk de analogie met het foto-elektrisch effect beschreven. Het dansende balletje bevindt zich in een gebonden toestand in de buis net als geleidingselektronen in een metaal. Bij hogere frequenties zal het balletje hoger komen. De hoogte is dus een maat voor de kinetische energie van het balletje. De geluids frequentie is dus analoog aan de lichtfrequentie (de energie die geabsorbeerd wordt) en de geluidssterkte analoog aan de intensiteit van het licht (hoeveelheid fotonen). De analogie gaat niet op als je lage frequenties van geluid met hoge amplitude gebruikt. Dan zou het balletje toch kunnen 'ontsnappen'. Bij het foto-elektrisch effect kan er geen stroom onder de grensfrequentie ontstaan. De gemeten data geven een analoge grafiek aan de grafiek van de kinetische energie tegen frequentie van het foto-elektrisch effect (zie de figuur).

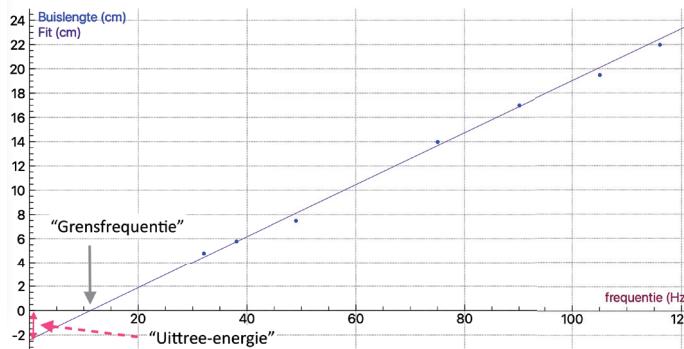


Diagram naar Barretto (2022):  
een analoge grafiek aan  
het foto-elektrisch effect.  
Wijs de leerlingen op de as-  
afsnijdingen en de analoge  
as-afsnijdingen bij het diagram  
van het foto-elektrisch effect.  
Wijs de leerlingen er ook op  
waar de analogie niet meer  
opgaat.

### Tips

- Let op de verhouding kraal/balletje en buisdiameter. De buis moet redelijk nauw zijn zodat de kraal of het balletje zoveel mogelijk verticaal springt.
- Het gaat om een analogie met het foto-elektrisch effect, maar let op waar de analogie afwijkt van het concept.

### Bron

Jerry T Barretto (2022) *A physical model to simulate the photoelectric effect* Physics Education. 57 053003

## B47 LESLOKAAL ALS OOG



Variabele lenssterkte

10-15 minuten

vanaf klas 3

Hoe het oog werkt is best lastig te snappen; en dan ook nog verziend en bijziend begrijpen. Met een grote lens waarvan de sterkte te regelen is, kun je mooi de werking van de ooglens demonstreren. Bij dit experiment moet het leslokaal redelijk verduisterd zijn, maar niet zo donker als nodig voor een camera obscura.



*De opstelling in een verduisterd lokaal, met links het scherm en rechts, bij de pijl, de variabele lens*

### Nodig

Vloeistoflens (met grote diameter en variabele brandpuntafstand); scherm; verduisterd lokaal.

### Voorbereiding

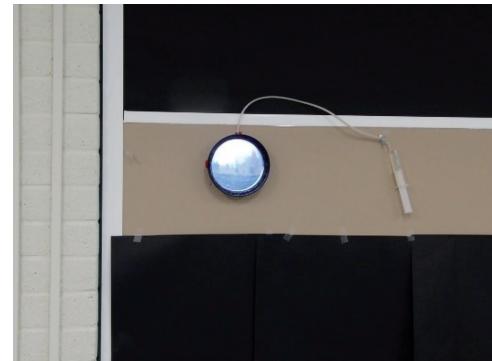
Bouwbeschrijving van een vloeistoflens, zie NVON-site.

Van te voren testen of de lens voldoet; eventueel scherm verplaatsen.

## Uitvoering

Voor een raam met uitzicht op de omgeving hang je de vloeistoflens op. Zet een groot wit scherm er tegenover om het beeld te projecteren. De rest van de ramen is verduisterd/afgeplakt met zwart papier.

1. Stel de lens zo in dat het beeld van voorwerpen veraf scherp op het scherm (= netvlies) staan.
2. *Waardoor staat het beeld op z'n kop? Wat doen jouw hersenen dus?*
3. *Is alles scherp afgebeeld? Waarom wel/niet?*
4. *Wat moet 'het oog' doen om ook scherpe beelden te krijgen van voorwerpen veel dichter bij?*
5. Verziend: Stel weer scherp op voorwerpen ver weg. Dit oog ziet de voorwerpen dichtbij niet scherp.
6. *Wat is er aan de hand met dit oog? Wat moet dit ook dan de hele tijd doen bij ver weg kijken? Hoe zou je dit oog kunnen helpen?*
7. Bijziend: stel 'het oog' zo in dat beelden van dichtbij wel scherp afgebeeld zijn, maar beelden van voorwerpen ver weg niet.
8. *Wat is er met dit oog aan de hand? Hoe zou je dit oog kunnen helpen?*



De zelfgemaakte variabele lens in het raamkozijn van een lokaal

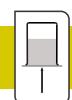
## Natuurkundige achtergrond

Hoofdstuk 'Licht' uit een onderbouwboek, klas 3, paragraaf over het oog, accommoderen, verziend en bijziend.

## Tips

- Maak (of gebruik) ook een diafragma. Wat kun je daarmee laten zien voor het oog?
- Je kunt er in de bovenbouw H4/5 een PO voor Technisch Ontwerpen van maken. Dan kunnen leerlingen zelf zo'n lens ontwerpen en demonstreren.

## FASEVERANDERING 2



Adem op een glas kraanwater en er vormt zich waterdamp, een nevel, op de buitenkant van het glas. Neem nu een glas water uit de heetwaterkraan. Adem weer op het glas. Nu vormt zich geen condens als tenminste de temperatuur van het water in het glas hoger is dan die van de adem uit de longen (ongeveer 37 graden). *Maar als het water in het glas heet is, waar zie je dan condens?* Op de binnenkant van het glas, boven het water!

## B48 ELEKTRONEN EN PLAKBAND



 10 minuten

 4-6 havo/vwo

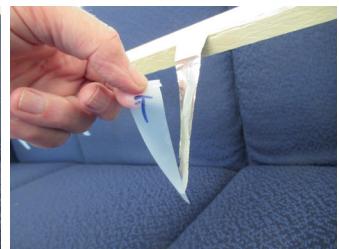
Je trekt plakbandjes van elkaar af, je plakt de een aan de rand van de tafel, nadert met de ander, en aantrekking! Je doet hetzelfde met een ander paar en je kunt zowel aantrekking als afstoting laten zien. En dan de interactie van plakband met een strip aluminiumfolie of met een strip papier. Deze demonstratie laat afstoting/aantrekking van geladen voorwerpen en de aantrekking van ongeladen voorwerpen zien en is bovengemiddeld betrouwbaar (zie afbeeldingen hieronder).



*Top en Bottom plakband,  
aluminium strips en papier*



*Top trekt Bottom aan.*



*Top trekt aluminiumfolie aan.*

### Nodig

Scotch Magic Tape™ (dat ondoorzichtige plakband); twee reepjes aluminiumfolie; twee reepjes krantenpapier; tafel of houten lat.

### Voorbereiding

Vooral testen!

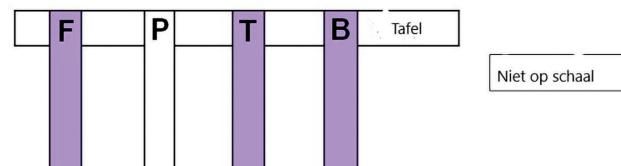
### Uitvoering

Neem drie stukjes Scotch tape van elk zo'n 12 cm. De eerste strip plak je op tafel of lat. Deze blijft hier: het is je werkblad om te zorgen dat de lading die de strips krijgen niet afhangt van eigenschappen van de tafel. Vouw van elk van de overgebleven strips één van de uiteinden een keer om (de handgreep). Plak de tweede strip boven op de eerste en schrijf B (Bottom) op de handgreep. Plak daarna de derde strip boven op de tweede en schrijf T (Top) op de ander. Je hebt nu drie strips boven op elkaar, waarvan twee met een handgreep. Trek nu langzaam de strips met handgreep los van de onderste strip. We willen op dit punt nog geen lading op beide strips hebben (dat komt pas als we ze uit elkaar trekken). Hoe langzamer je trekt, des te minder lading er opbouwt op beide strips. Strijk rustig met je vinger over de niet plakkerige kant om eventuele lading te verwijderen. Trek daarna de B en T strip snel uit elkaar. Plak beide strips aan de rand van de tafel, met minimaal 15 cm ertussen.

Maak op dezelfde manier nog een B en een T strip en hang ze ernaast. Pak strip T en breng hem bij strip B in de buurt (zonder aan te raken). B and T are clearly in love!

*Wat zal er gebeuren als ik de T strips bij elkaar breng? En de B strips?*

De docent tekent twee strips op het bord (figuur hiernaast) met + en – ladingen. Introduceer dit als een nieuwe representatie die ze vaker gaan gebruiken bij het doen van voorspellingen. De taak voor leerlingen: *teken wat er volgens jou gebeurt met de ladingen op het moment dat je de twee stroken plakband van elkaar trekt.*



*De strips aan de tafelrand geplakt op onderlinge afstanden van 15 cm.  
F=aluminiumfolie, P=papier, T=topstrip plakband, B=bottomstrip plakband.*

Plak de strip aluminiumfolie (F) en de strip krantenpapier (P) met een stukje plakband aan de tafelrand. Ook met 15 cm afstand ertussen. Laat eerst zien wat er gebeurt als je de aluminiumstrip benadert met de andere aluminiumstrip en hetzelfde met de twee strips krantenpapier. Er gebeurt niets. *Wat zal er gebeuren er wanneer de losse Scotch tape strip B de aluminium strip benadert? En wat wanneer deze het krantenpapier benadert? En als je hetzelfde doet met strip T?*

Vervolgens uitvoering en dan de opdracht *teken het model*. Terwijl de leerlingen hun model tekenen, gaat de docent rond en vraagt leerlingen hun tekeningen toe te lichten. Daarbij leert de docent veel over leerling ideeën (formatieve toetsing!). De rondgang is een goede voorbereiding op de latere klassikale discussie.

Uiteindelijk klassikale discussie over het beste model. Lastig voor de leerlingen is dat het papier ook wordt aangetrokken. Want die minnetjes kunnen toch niet vrij bewegen? De PhET simulatie van de ballonnen laat heel mooi zien wat er gebeurt als de geladen ballon de ongeladen muur nadert: [https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity\\_nl.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_nl.html)

### Natuurkundige achtergrond

Over de oorzaak van ladingscheiding bij plakband wordt nog gespeculeerd. Mogelijk ontstaan er breuken in plakbandmoleculen of moleculen van verontreinigingen op het oppervlak waarbij ionen ontstaan (Harrington, 2000).

### Tip

Zie Harrington's artikel in The Physics Teacher voor interessante experimenten met 3 stukjes plakband op elkaar. De onderste blijkt dan dubbele lading te hebben bij gebruik van een metalen tafel om de tape op te plakken.

### Bronnen

Modeling Physics, [www.AMTA.org](http://www.AMTA.org), module *Fields*, werkblad 2.

[http://www.exo.net/~pauld/summer\\_institute/summer\\_day14electrostatic/tape\\_electroscope.html](http://www.exo.net/~pauld/summer_institute/summer_day14electrostatic/tape_electroscope.html)

Harrington, R. (2000). Getting charge out of transparent tape. *The Physics Teacher*, 38, 23-25.

## B49 MAGNETISCHE DRUIVEN



Aandachtstrekker aan het begin van de les



5 minuten

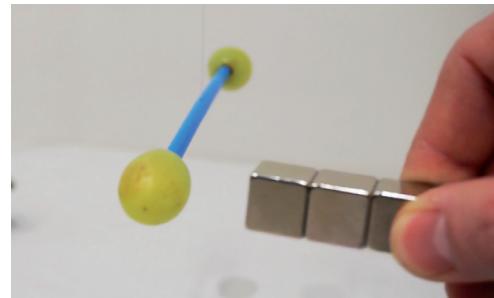


klas 5

Ferromagnetisme is een bekend verschijnsel. Een magneet trekt een ijzeren spijker aan. Daarbij maakt het niet uit of je de noord- of de zuidpool van de magneet in de buurt van de spijker brengt. Bij druiven gebeurt iets anders: een sterke magneet stoot druiven af.

### Nodig

Minstens vier sterke neodymium magneten op elkaar; twee druiven aan een rietje of satéprikkers; een draadje om de druivenbalans op te hangen; camera.



Een sterke magneet stoot de druif af.

### Voorbereiding

Bouw de druivenbalans en breng deze in evenwicht. Camera klaarzetten zodat de live-beelden op het digibord te zien zijn. Leerlingen naar voren halen kan ook.

### Uitvoering

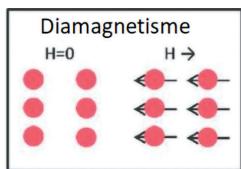
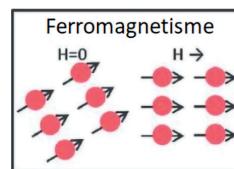
1. Ga voorzichtig met één pool van de magneet in de richting van een druif. *Wat zie je? Kun je er een verklaring voor kunnen bedenken?* De druif zal van de magneet weg bewegen.
2. Breng de balans weer in rust, draai de magneet om en herhaal de proef met de ander pool. *Beschrijf weer wat je ziet.*
3. Het is onwaarschijnlijk dat leerlingen het begrip diamagnetisme kennen. Ze zijn wel vertrouwd met ferromagnetisme. *Jullie kennen ferromagnetisme. Waarom kan dit geen ferromagnetisme zijn?*
4. Laat ze informatie over diamagnetisme opzoeken.

### Natuurkundige achtergrond

Diamagnetisme is het verschijnsel dat een stof gemagnetiseerd wordt wanneer er een extern magnetisch veld op wordt toegepast, waarbij de magnetisatie klein is en tegengesteld aan het externe veld.

Magnetisatie treedt op wanneer het externe magnetische veld door inductie toeneemt. Volgens de wet van Lenz verzettet het geïnduceerde magnetische veld zich tegen het externe veld, zodat het externe magnetische veld verzwakt.

Een nuttig model voor de verklaring van



Het gedrag van ferro- en diamagnetisch materiaal met en zonder extern magneetveld  $H$

diamagnetisme op microniveau is dat het externe magneetveld de beweging van de elektronen in de atoomschil beïnvloedt. Deze gaan in een cirkel rond de magnetische veldlijnen bewegen, wat overeenkomt met een cirkelvormige stroom. Een cirkelvormige stroom veroorzaakt een magnetisch veld net zoals bij een spoel waar een stroom doorheen loopt.

Diamagnetisme komt in alle stoffen voor, maar omdat het een zwak effect is overheersen vaak andere magnetische verschijnselen (ferromagnetisme, paramagnetisme). Het is grotendeels onafhankelijk van de temperatuur. Zuiver diamagnetisme komt alleen voor in stoffen waarvan de atomen of moleculen geen permanent magnetisch moment bezitten. Dergelijke stoffen worden diamagnetisch genoemd. Voorbeelden zijn water, bismut en de edelgassen. Het gaat bij druiven dus om het water in de druiven.

### Tip

Het effect is zwak en een windvlaag kan het al verstören. Zorg dus voor een rustige omgeving en een sterke magneet.

### Verder onderzoek

De verschillende vormen van magnetisme kunnen een mooi onderwerp voor een profielwerkstuk zijn.

## GELEIDING



Laat leerlingen verschillende materialen voelen, bijvoorbeeld metaal van de stoelen, hout, kunststof, textiel. Hoe warm voelt het? Kunnen die materialen in hetzelfde lokaal wel verschillende temperaturen hebben? Als de temperaturen dan toch gelijk zijn, waarom voelt het dan toch verschillend? Geleiding! Metalen nemen gemakkelijk warmte op van de vingers/handen. Die warmte verspreidt zich over het hele metalen voorwerp. Als je direct na het aanraken van het metaal met dezelfde vingers de bovenkant van je andere hand aanraakt, dan voelt het koud. Het oppervlak van de vingers is duidelijk afgekoeld door aanraking van metaal. Aanraken van hout voelt niet koud aan.

## B50 BALLETJE TIK



*Omzetting van kinetische energie naar warmte*



5 minuten

onderbouw

De omzetting van kinetische energie in warmte komt veel voor. In deze demonstratie zie je dat de warmte die vrijkomt bij het tegen elkaar aan slaan van twee metalen kogels leidt tot een zodanig hoge temperatuur dat papier kan verbranden en aluminiumfolie kan vervormen.

### Nodig

Twee 500 g stalen ballen met een diameter van 5 cm; A4 papier; aluminiumfolie.

### Voorbereiding

Geen

### Uitvoering

Ter introductie sla je de kogels tegen elkaar zonder iets ertussen met een snelheid die vergelijkbaar is met applaudisseren. *Waar blijft de energie die ik er constant in stop door het heen en weer bewegen?*

Leerlingen zullen vermoedelijk geluid noemen, sommigen zullen zeggen dat de energie verdwijnt. Misschien noemen een aantal leerlingen ook dat er warmte ontstaat.

*Hoe zou je dat kunnen bewijzen?* Er zullen misschien suggesties zijn om de temperatuur van de stalen ballen te meten, maar dat is erg lastig. Er is een andere manier die aannemelijk maakt dat er warmte ontstaat.

Vraag iemand om te assisteren en het A4-papier verticaal vast te houden tussen de kogels in en sla de kogels tegen elkaar. Je kunt ervoor kiezen dit eenmalig te doen of herhaaldelijk op verschillende plekken op het papier. Je zult kleine gaatjes in het papier zien (zie de twee figuren hiernaast).

Vraag je de assistent aan het papier ruiken. Deze zal duidelijk een brandlucht waarnemen.



*Links: het resulterende gaatje in het papier met schroeirandje. Rechts: het golfpatroon in aluminiumfolie.*

In het tweede deel van de demonstratie vraag je de assisterende leerling om een vel aluminiumfolie verticaal tussen de botsende ballen te houden. Met dezelfde beweging als in het eerste deel sla je de metalen kogels tegen elkaar aan. Op de plek waar de ballen elkaar raken, is nu een golfpatroon te zien.

### Natuurkundige achtergrond

Kinetische energie wordt omgezet in warmte. Dit is bij inelastische botsingen vaak het geval. Denk aan een meteoriet die op het aardoppervlak stort. Bij de demonstratie met het papier is de energie voldoende om de ontbrandingstemperatuur van het papier te bereiken en het dus te verbranden. Die verbranding stopt weer snel doordat de warmtetoever naar de omgeving te klein is door de korte duur van de botsing.

Het ontstaan van de schokgolf in het aluminium is iets lastiger te verklaren. De verklaring die online het meest gegeven wordt, is dat het aluminium door de warmte kortstondig smelt en direct weer stolt. Hierdoor wordt de lopende golf, ontstaan tijdens de botsing, als het ware bevoren.

De massa van de kogels en het contactoppervlak zijn hier van groot belang. Bij een te kleine massa zal er niet genoeg kinetische energie zijn om het papier te laten branden of een waarneembare golf te produceren. Dit is eveneens het geval als het contactoppervlak te groot is. In dat geval wordt de kinetische energie wel omgezet in voldoende warmte, maar doordat die warmte wordt verdeeld over een te groot oppervlak wordt de ontbrandingstemperatuur niet bereikt.

### Tip

Je kunt, om te laten zien dat het kleine contactoppervlak van essentieel belang is, een hamer op een stalen ondergrond slaan. Deze zal geen verbranding of schokgolf laten zien.

### Verder onderzoek

Interessant zou zijn om te onderzoeken of de verklaring voor het waargenomen golfpatroon bij het aluminium inderdaad de juiste is. Wie verzint een experiment en voert het uit?

## AFKOELING BIJ VERDAMPING

Eén van de leerlingen heeft vast zoiets als nail polish remover of deodorant. Laat een druppel daarvan op de rug van de hand vallen van een leerling voor de klas en die voelt het kouder worden. Ondertussen verdampst de vloeistof. Of probeer schoonmaak alcohol of aceton. Natuurlijk is het mooier als iedere leerling dit kan voelen.

## B51 LORENTZKRACHT OP GELADEN DEELTJES

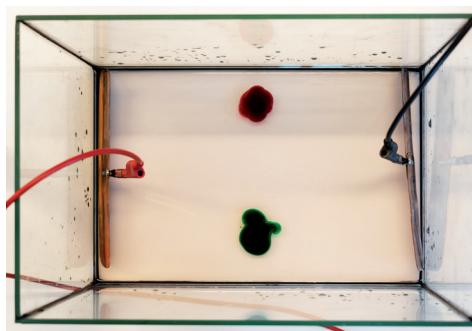


10-15 minuten

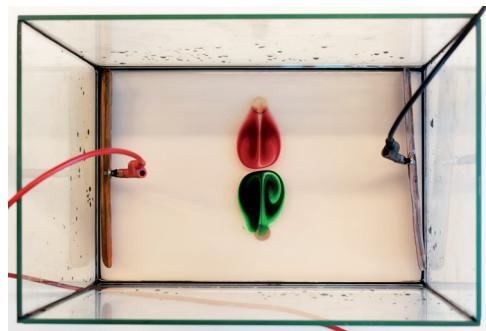


bovenbouw vwo

De lorentzkracht op geladen deeltjes is abstracter en lastiger zichtbaar te maken dan de lorentzkracht op een stroomvoerende draad. In deze demonstratie maak je de lorentzkracht op ionen in oplossing zichtbaar. De lorentzkracht is al bekend, zodat de leerlingen er stevig mee kunnen gaan heen-en-weer-denken in deze situatie.



De opstelling met een keukenzoutoplossing in een aquariumbak waarin twee elektroden zijn aangesloten op een gelijkspanningsbron. Onder het aquarium liggen twee platte schijfmagneetjes. Precies boven de magneetjes ligt de kleurstof. Er loopt nog geen stroom.



De situatie direct nadat de stroom gedurende ongeveer een seconde is ingeschakeld. Boven de magneetjes ontstaat een kracht loodrecht op de stroomrichting, die zorgt voor een werveling. De magneetjes zijn zichtbaar geworden.

### Nodig

Bak met een laag zoutoplossing van ongeveer een centimeter diep; voedselkleurstof; spanningsbron; twee lange elektrodes; die je kunt maken uit een strip koper; twee schijfmagneten; camera voor de zichtbaarheid.

### Voorbereiding

Zet de opstelling klaar zonder de kleurstof en zorg dat deze ruim een minuut tot rust kan komen. De inkt voeg je toe vlak voor je de spanning inschakelt. Een camera verhoogt de zichtbaarheid.

### Uitvoering

Licht eerst de opstelling toe en stel een vraag om te controleren of de leerlingen de opstelling begrijpen. *In welke richting loopt de stroom dadelijk?* Benadruk dat er zowel positieve Na<sup>+</sup>-ionen als negatieve Cl<sup>-</sup>-ionen aanwezig zijn in de oplossing. Deze demonstratie leent zich niet voor een voorspelling voordat de leerlingen iets gezien hebben. Na de toelichting volgt dus de uitvoering. Het resultaat blijft een tijdje zichtbaar, zodat de leerlingen aan de hand van het resultaat aan de slag kunnen met de

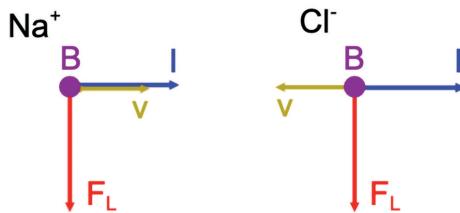
kernvraag. Welke van deze magneten ligt met de noordpool naar boven?

De beantwoording daarvan vraagt veel heen-en-weer-denken. Je neemt de richting van de lorentzkracht waar en weet waar plus- en minpool aangesloten zijn (hands-on-domein). Dat moet je koppelen aan de richting van een magnetisch veld via een handregel voor de lorentzkracht en dat moet je weer vertalen naar de manier waarop de magneetjes liggen.

Leerlingen zullen die vraag vermoedelijk beantwoorden vanuit de richting van de lorentzkracht op een stroomvoerende draad. Het loont de moeite te bespreken wat er zou veranderen als je gaat redeneren vanuit de  $\text{Na}^+$ -ionen (niets) en wat er zou veranderen als je gaat redeneren vanuit de  $\text{Cl}^-$ -ionen (die bewegen tegengesteld aan de stroomrichting). Uit ervaring is gebleken dat bij sommige leerlingen het misconcept postvat dat de negatieve ionen alleen door de bovenste magneet (met de rode kleurstof) en de positieve ionen alleen door de onderste magneet (met de groene kleurstof) worden beïnvloed, en omgekeerd. Het is daarom belangrijk nogmaals te benadrukken dat zowel de positieve als de negatieve ionen tegelijkertijd een kracht ondervinden in dezelfde richting.

Controlevraag: Docent geeft een schets van het resultaat en vraagt de leerlingen te bedenken hoe ze dat moeten maken met deze materialen. Veel heen-en-weer-denken is hierbij gegarandeerd.

### Natuurkundige achtergrond



Krachtendiagram voor een positief en een negatief ion voor de bovenste (rode kleurstof) magneet. De volgorde van redeneren is: richting van  $F_L$  is waargenomen, richting van  $v$  volgt uit potentiaalrichting, richting van  $I$  volgt uit  $v$  en lading deeltje, combineren en handregel toepassen geeft richting  $B$  (omhoog uit het water).

### Tip

Een iets andere variant van deze demonstratie is te vinden in Showdefysica 2, nummer B31 (pagina 132).

## B52 TRAGE LAMPJES

*PTC-gedrag van gloeidraadje zichtbaar gemaakt*

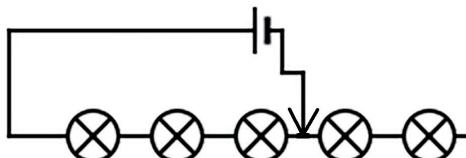


10-20 minuten

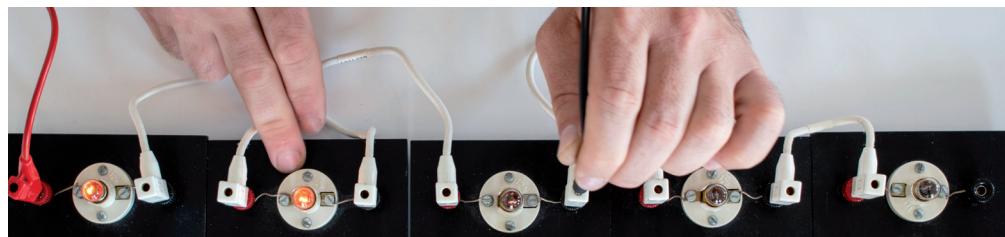


vanaf klas 3

Deze verrassende demonstratie maakt het PTC-gedrag van gloeilampjes zichtbaar. De verklaring van de waarnemingen vraagt veel heen-en-weer-denken. Je kunt hem op verschillende niveaus geven. De demonstratie is geschikt om het begrip te controleren aan het einde van een hoofdstuk of paragraaf over weerstand, stroomsterkte en spanning in de serieschakeling.



*Tijdens de demonstratie verplaats je steeds de aansluiting van de negatieve pool van links naar rechts, zodat de eerste keer slechts één lampje is ingeschakeld en de laatste keer alle lampjes zijn aangesloten.*



*De situatie vlak na het verplaatsen van de aansluiting. Het derde lampje brandt nauwelijks zichtbaar en heeft even de tijd nodig om net zo fel te gaan branden als de andere twee.*

### Nodig

Spanningsbron en vier of vijf identieke lampjes inclusief aansluitmateriaal.

### Voorbereiding

Klaarzetten en alvast de verbindingen tussen de lampjes aansluiten, zodanig dat zichtbaar is dat de lampjes in serie staan. Teken de schakeling op het bord.

### Uitvoering

Als start voer je de demonstratie uit door stap-voor-stap meer lampjes aan te sluiten op de spanningsbron, waarvan de spanning constant is. De leerlingen schrijven hun waarnemingen op. Vervolgens inventariseer je de waarnemingen kort op het bord.

Mogelijke waarnemingen zijn:

- Alleen lampjes tussen de aansluitingen gaan branden;
- Hoe meer lampjes aangesloten zijn, hoe minder fel ze branden;
- Het laatste lampje dat je aansluit, gaat langzaam feller branden, terwijl de andere aangesloten lampjes direct al met de uiteindelijke felheid branden.
- Naarmate je meer lampjes aansluit, duurt het steeds langer voordat het laatst aangesloten lampje de eindfelheid bereikt.

Daarna volgt een discussie over een verklaring. De derde en vierde waarnemingen zijn het interessantst; de verklaring voor de eerste twee kun je gebruiken om de voorkennis op te halen. Het verklaren van al deze waarnemingen vraagt heen-en-weer-denken en het is belangrijk om flink door te vragen en heel precies te zijn over de vaktaal. Een tip voor de verklaring van de derde waarneming is een vraag naar wat er gebeurt met de weerstand van een gloeilampje tijdens het aangaan van het lampje. Als de vierde observatie nog niet gedaan is, biedt dat een mogelijkheid voor een voorspelling. Leerlingen kunnen ook voorspellen wat er gebeurt met de stroomsterkte tijdens het langzaam feller worden van het laatst aangesloten lampje. Die zal afnemen; zichtbaar te maken met een stroommeter.

### Natuurkundige achtergrond

De verklaring kun je het best koppelen aan de derde en vierde waarneming in de situatie waarin het derde lampje net is aangesloten: de temperatuur van lampje 1 en 2 is hoger dan van lampje 3, omdat lampjes 1 en 2 net wel hebben gebrand en lampje 3 niet. Daardoor is op het moment van aansluiten de weerstand van lampjes 1 en 2 hoger dan van lampje 3 en dus krijgen lampje 1 en 2 een groter deel van de spanning in deze serieschakeling. Na aansluiten neemt de temperatuur van lampje 3 toe en dus krijgt die steeds meer spanning (en lampje 1 en 2 minder), maar het afnemen van de helderheid is niet zichtbaar met het blote oog). De vierde observatie: als er meer lampjes in serie staan, is de totale weerstand groter en dus de stroomsterkte kleiner en daardoor gaat het toenemen van de temperatuur van het laatste lampje langzamer. Dat leidt tot een steeds trager toenemen van de spanning erover en dus steeds trager toenemen van de helderheid. Tot slot wat er gebeurt met de stroomsterkte: de weerstand van het laatst aangesloten lampje neemt toe, dus de totale weerstand in de kring neemt toe en de stroomsterkte neemt af.

### Tips

De demonstratie leent zich goed voor verder onderzoek als je sensoren voor de stroomsterkte en de helderheid van de lampjes erbij haalt. Dan moet het bijvoorbeeld ook mogelijk zijn om iets te zeggen over de afkoeling van de lampjes tijdens het verplaatsen van de aansluiting.

Deze demonstratie is eerder beschreven door Ruud Brouwer in de serie Oude Natuurkunde van Stevin.

## B53 VREEMDE FIETSLAMPJES?



Lampjes in serie en parallel

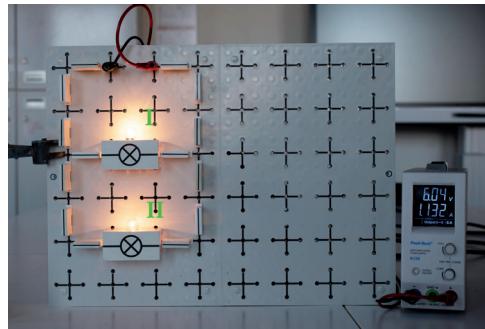


5-10 minuten

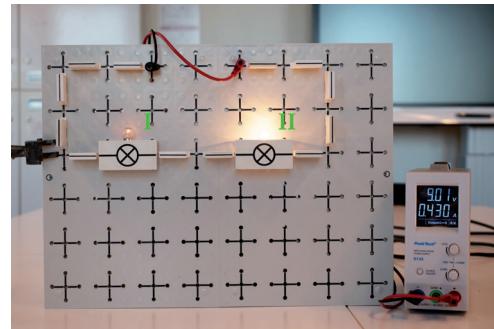


klas 3 en hoger

Deze demonstratie maakt duidelijk dat je op verschillende manieren moet redeneren in een serieschakeling en een parallelschakeling. Je zet dezelfde twee lampjes één keer in serie en één keer parallel. Je moet vaak heen-en-weer-denken met begrippen als spanning en stroomsterkte in schakelingen en de invloed van de weerstand erop. Hoe fel brandt elk lampje?



Twee verschillende fietslampjes parallel geschakeld.  
Lampje I heeft als opschrift 6V, 2.4W en lampje II  
6V, 0.6W.



Dezelfde fietslampjes in serie geschakeld. Lampje I heeft als opschrift 6V, 2.4W en lampje II 6V, 0.6W.  
Hebben de lampjes stiekem geruild van vermogen?

### Nodig

Schakelmateriaal; twee fietslampjes voor dezelfde spanning met verschillend vermogen; spanningsbron (bij voorkeur instelbaar).

### Voorbereiding

Zet de parallel-opstelling klaar.

### Uitvoering

Je introduceert de schakeling met de nadruk op de twee verschillende lampjes en geeft de meerkeuzevraag. *Welk lampje brandt het felst als je de spanningsbron inschakelt?* Antwoorden inventariseren kan heel goed door een aantal vingers op te laten steken (I, II of III voor beide even fel). Vervolgens voer je de demonstratie uit en vraag je naar de verklaring. Daarbij benadruk je dat de leerlingen iets verder moeten denken dan ‘hoogste vermogen, dus I’. Je bent op zoek naar een volledige redenering in de trant van ‘lampje I heeft het hoogste vermogen, dus de laagste weerstand. In de parallelschakeling krijgt die de grootste stroomsterkte, terwijl de spanning over beide hetzelfde is, dus I brandt het felst.’

Vervolgens teken je de serieschakeling op het bord met dezelfde vraag. Terwijl de

leerlingen nadenken, kun jij even ombouwen. Vermoedelijk krijg je nu verschillende antwoorden, waaronder een aantal keer III. Het is de moeite waard om nu vóór de uitvoering al verklaringen uit te vragen. Het inschakelen van de bron levert duidelijk een -meestal- onverwachte uitkomst op, die vraagt om een verklaring. Vaak zullen leerlingen met hulp het vereiste heen-en-weer-denken deze deels zelf kunnen bedenken. Die hulp kan bestaan uit een serie vragen, waarvan je de juiste antwoorden op het bord schrijft.

Bijvoorbeeld:

1. *Welk lampje heeft de grootste / kleinste weerstand?*
2. *Wat betekent dat voor de spanningsverdeling in de serieschakeling?*
3. *Wat weet je over de stroomsterkte in de serieschakeling?*
4. *Wat is dan de logische laatste stap??*

Tot slot kun je heel goed de overkoepelende redenering benadrukken: eerst uit het vermogen iets zeggen over de weerstand, zodat je daarmee verder kunt redeneren over hoe het in de specifieke schakeling stroomsterkte of spanning beïnvloedt. In de parallelschakeling moet je verder redeneren met stroomsterkte en in de serieschakeling met de spanning.

### Natuurkundige achtergrond

In de serieschakeling wordt de spanning zo verdeeld dat de grootste weerstand de grootste spanning krijgt. Lampje II heeft het laagste -bedoelde- vermogen, dus de grootste weerstand en krijgt in de serieschakeling dus de grootste spanning. Met de stroomsterkte gelijk, brandt lampje II dan het felst. Het zijn dus toch hele gewone fietslampjes, niets vreemds aan.

### Tips

Er zijn verschillende mogelijke uitbreidingen:

- *Kun je de spanningsverdeling echt uitreken? Waarom wel of niet?* Leerlingen die het wel denken te kunnen uitrekenen, komen bedrogen uit zodra je gaat meten.
- *Als je de U,I-karakteristieken van de beide lampjes kent, hoe kun je dan wel de spanningsverdeling bepalen uit die diagrammen?*
- *Waarom kun je wel eenvoudig de totale stroomsterkte in de parallelschakeling uitrekenen? Kan dat ook nog als de spanningsbron meer of minder dan 6V geeft?*
- *Waarom is er bij de serieschakeling meer dan 6V nodig?*

## B54 KIRCHHOFF



10 minuten

bovenbouw havo en vwo

Goede demonstraties over de wetten van Kirchhoff zijn schaars. Deze demonstratie kan goed dienen als introductie. Ook zonder duidelijke verwijzing naar Kirchhoff, is de demonstratie nuttig om de relatie tussen spanning en potentiaal te laten zien.

### Nodig

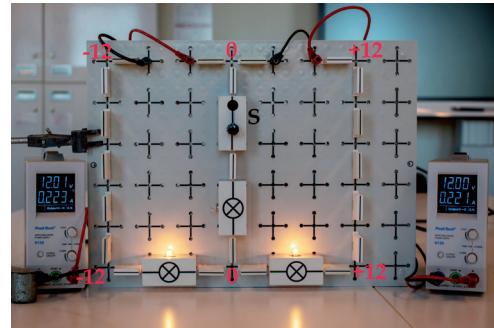
Schakelmateriaal, waaronder twee identieke spanningsbronnen en twee identieke lampjes.

### Voorbereiding

Zet de schakeling klaar met open schakelaar, inclusief een schakelschema op het bord of in de presentatie.

### Uitvoering

Je start met open schakelaar en vraagt wat er zal gebeuren met de lampjes als je de schakelaar sluit. Een mooie variant om iedereen mee te laten heen-en-weer-denken is om er een meerkeuzevraag van te maken, waarbij de mogelijke opties inclusief mogelijke verklaring eerst uit de leerlingen zelf komen. Weinig leerlingen zullen redeneren vanuit de potentiaal of de spanning, maar enkelen zullen wel redeneren vanuit de stroomsterkte, in de trant van: 'de linker spanningsbron duwt de stroom omlaag, de rechter omhoog, dus er gaat geen stroom lopen en het lampje blijft uit'.



*Schakeling met gesloten schakelaar. De twee spanningsbronnen zijn identiek (12V) en de twee lampjes zijn identiek (ook 12V). Openen en sluiten van de schakelaar heeft geen effect op de lichtsterkte. De rode cijfers zijn potentiaLEN (met gekozen nulpunt tussen de twee spanningsbronnen).*

Vervolgens sluit je de schakelaar en dan gebeurt er helemaal niets. Bij het nabespreken is het interessant om de leerlingen die met stroomsterkte het juiste antwoord hebben gegeven door te laten redeneren naar de andere takken van de schakeling. Daarna kun je de verklaring met potentiaal en spanning geven. Het expliciet oopschrijven van de potentiaLEN helpt voor het inzicht en dan kun je eenvoudig koppelen aan de spanningswet van Kirchhoff.

Controlevraag. *Welk(e) lampje(s) gaat (gaan) branden als ik de rechter spanningsbron omdraai?* Het helpt om daarbij de tip te geven eerst de potentiaLEN in de schakeling te zetten. Ook deze vraag appelleert sterk aan heen-en-weer-denken doordat die potentiaLEN nog moet koppelen aan het gedrag van de lampjes.

### Natuurkundige achtergrond

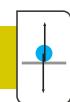
Er is geen potentiaalverschil over het lampje in de verticale tak, dus gaat het lampje ook niet branden.

### Tips

Bij gebruik van verschillende spanningsbronnen en verschillende lampjes zijn er uitbreidingsmogelijkheden.

- Je kunt eenvoudig het derde lampje wel (zwak) te laten branden. Een nuttige vervolg vraag is dan welke kant de stroom op loopt in de verticale tak (en in de beide horizontale takken). Dit garandeert heen-en-weer-denken en het resultaat van dat denkwerk kun je controleren met een stroommeter.
- Een andere mooie heen-en-weer-denk-vraag is om de leerlingen te laten bedenken wat er gebeurt als je één spanningsbron omdraait. Kun je dat zonder verdere aanpassingen doen en alles heel houden?

## ROTATIE VAN DE MAAN



De docent fungert als aarde. Een leerling (maan) beweegt er omheen, altijd met het gezicht (zelfde kant van de maan) naar de aarde gericht. Tijdens een rondgang om de aarde draait de maan dus een keer om z'n as. Je moet dit zien om te snappen wat dat betekent. Laat leerlingen kijken naar een zin in het leerboek over maanrotatie en dit dan vertalen in een bewegingsvoorschrift voor het rollenspel. Wat moet de maan doen?

## B55 LADING METEN



10 minuten

vanaf klas 2

Leerlingen krijgen les over lading en elektrische velden. In demonstraties geven docenten allerlei voorwerpen lading. De orde van grootte en teken van de elektrische lading op de voorwerpen is echter moeilijk te bepalen. We gebruiken in deze demonstratie een ladingssensor om de grootte en het teken van de lading te meten. De ladingssensor laat zien dat de lading van het doekje waarmee je wrijft, tegengesteld is aan die van het voorwerp dat je gebruikt voor deze demonstratie.

### Nodig

Ladingssensor, plakband (3M Scotch tape), doekje, diverse kunststofstaven.

### Voorbereiding

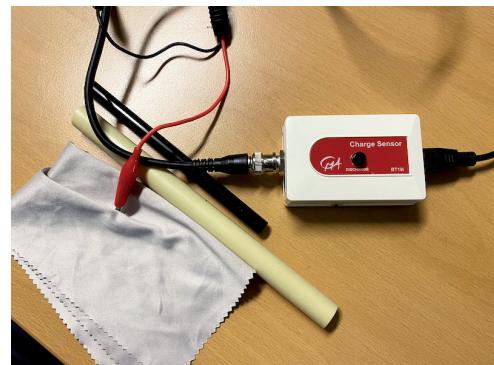
Sluit de ladingssensor aan op Coach. Zorg dat de waarde van de sensor wordt weergegeven in een venster. Stel de sensor met de knop in op een bereik van +/- 25 nC.

Verbind de zwarte klem van de sensor met een aarde. Reset de sensor met de resetknop.

Laat de meting op een groot scherm zoals een digibord zien.



De ladingssensor is geaard via een CoachLab. De rode klem van de sensor wordt in de buurt gehouden van uit elkaar getrokken tape.



De ladingssensor, kunststofstaaf en een wrijfdoekje waarmee de voorwerpen geladen worden.

### Uitvoering

1. Neem twee even lange stukjes plakband. Plak een stukje op de rug van het andere plakbandje (zie figuur 1, links). Wrijf er even overheen met je vinger. Meet dat de lading 0 nC is.
2. Trek de plakbandjes van elkaar af en meet de lading van beide stukjes apart.
3. Vraag de leerlingen om de metingen te verklaren.
4. *Wat gaan we meten als ze weer op elkaar worden geplakt?*
5. Wrijf een kunststofstaaf op met een doekje en meet de lading van de staaf.
6. Controlevraag: *Wat is de lading van het doekje?*
7. Meet na resetten van de sensor ook de lading van het doekje.

## Natuurkundige achtergrond

Door wrijving ontstaat ladingsscheiding. De voorwerpen waren eerst neutraal. Door wrijving verplaatsen een aantal elektronen. Het ene voorwerp wordt dan tegengesteld geladen aan het andere voorwerp. De grootte van de lading bij deze proeven is in de orde van een tiental nC.

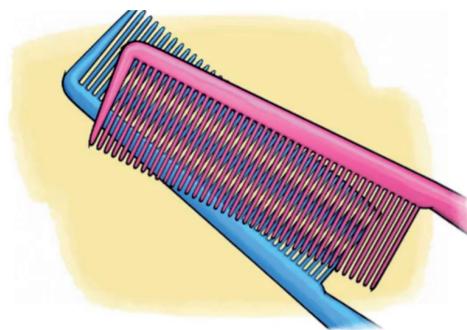
## Tips

- Het plakband van elkaar afhalen kan ook in tweevoud. Laat dan zien dat stukje plakband elkaar aan kunnen trekken of afstoten.
- Wrijf in één richting als een staaf geladen moet worden.

## ZWEVINGEN, MOIRÉ PATRONEN



Moiré patronen ontstaan wanneer twee golven of patronen interfereren. Bijvoorbeeld twee haarkammen op elkaar met ietsje verschillende afstand tussen de tanden geven plekken waar de tanden samenvallen (licht constructieve interferentie) en plekken waar de tanden in tegenfase zijn (donker, destructieve interferentie). Dat herinnert ons aan zwevingen bij geluid waarbij het geluid soms in fase is en soms in tegenfase, dat geeft periodieke variaties in geluidsintensiteit die we zwevingen noemen. Als je de kammen wat schuin op elkaar legt, dan krijg je mooie patronen. Hetzelfde gebeurt met vitrage en allerlei textiel. Vraag twee haarkammen van leerlingen. Goede kans dat de afstand tussen de tanden verschilt. Houd ze gedeeltelijk over elkaar en je ziet een Moiré patroon. Als het niet lukt, vraag dan nog een paar kammen. Als het aantal tanden per cm net iets verschilt, krijg je donkere en lichtere banden. De lichtere waar de tanden bijna gelijk staan, en de donkere waar ze in tegenfase staan.



Moiré patronen bij twee kammen (Hewitt, 2011)

## B56 GOOCHELEN MET EEN SPIEGEL



Aan de hand van natuurkunde

5-30 minuten

onderbouw

Goochelaars gebruiken soms -goed verstopte- halfdoorlatende spiegels. In deze demonstratie gebruik je die ook, maar nu zien de leerlingen wat er aan de hand is. Daardoor kunnen ze iets leren over de achterliggende natuurkunde. Er zijn ruim uitbreidingsmogelijkheden en daarom kun je deze demonstratie zo lang laten duren als je zelf wilt. Maak vooral ook constructietekeningen. Dat vraagt om veel heen-en-weer-denken tussen die abstracte representatie en de waarneming in de klas.



*Heeft deze docent een vuurvaste vinger? Of wist hij genoeg van spiegelen om te weten waar het beeld zou komen?*



*Verkoop men tegenwoordig watervaste kaarsen? Of staat er een bekerglas precies op de juiste plek?*

*Voor de leerlingen aan deze kant in het lokaal staat het brandende kaarsje net binnen het gezichtsveld. De lichtstraal vanaf het beeld naar hun oog, gaat via de spiegel, zoals zichtbaar wordt door de bordliniaal.*

## Nodig

Plaat plexiglas met weinig krasen; statief; twee waxinelichtjes; twee bekerglazen; rechte stok (bijvoorbeeld een bordliniaal)

## Voorbereiding

Klem een vlakke plaat in een statiefklem en plaats nauwkeurig de twee kaarsjes.

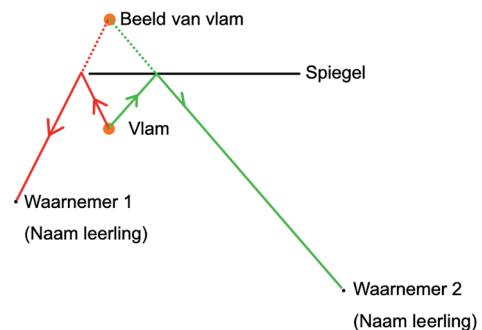
## Uitvoering

De foto's vertellen het grootste deel van het verhaal en laten een aantal mogelijkheden zien. Bij de demonstraties rondom het gezichtsveld kun je leerlingen laten opstaan als ze het beeld van het kaarsje zien en laten zitten als ze het niet zien. Wanneer jij dan langzaam het kaarsje verplaatst, wordt heel duidelijk hoe de grens van het gezichtsveld verandert, doordat leerlingen gaan staan of zitten.

Leerlingen hebben vaak moeite met het maken van de vertaling van een constructietekening naar een echte situatie en omgekeerd. Daar kan deze demonstratie zeer behulpzaam bij zijn, omdat de docent nu ook aan de achterkant van de spiegel het beeld kan aanwijzen en ermee manipuleren. Daarbij kun je ook steeds benadrukken dat de constructietekening een bovenaanzicht geeft, terwijl de leerlingen een zijaanzicht hebben. Ook dat is een belangrijke realisatie, die in deze demonstratie heel zichtbaar is. Alle constructietekeningen in de geometrische optica geven zo'n bovenaanzicht. Bij deze demonstratie merk je dat opeens duidelijk. Controlevraag. *Ik plaats een vel papier tegen de spiegel. Zie afbeelding. Steek je hand op als je verwacht het spiegelbeeld van het kaarsje te kunnen zien.*

## Natuurkundige achtergrond

Geen opmerkingen



*Voorbeeld van een constructietekening, zoals die op het bord kan komen, De rood getekende constructiestraal gaat niet via de spiegel, dus waarnemer 1 ziet het beeld niet. Waarnemer 2 ziet het beeld wel, want de groen getekende constructiestraal gaat via de spiegel. Hier wordt heen-en-weer-denken tussen de abstracte representatie van de constructietekening en de daadwerkelijke waarneming in de klas duidelijk.*



*De docent geeft precies aan waar hij het papier tegen de spiegel gaat plaatsen.*

## B57 FLUORESCERENDE OLIJFOLIE



15 minuten

bovenbouw VWO

Extra vierge olijfolie is van de eerste persing van olijven en duurder dan latere persingen. In die olie zit bladgroen (chlorophyl) dat *fluoresceert*. Dat verschijnsel helpt bij het nagaan of olijfolie echt extra vierge is. Je kunt het met een eenvoudig energieniveauschema beschrijven en de verrassende waarnemingen verklaren.

### Nodig

Fles extra vierge olijfolie; twee flessen water; rode laserpen; groene laserpen; witte muur/papier; plantenspuit (water met wat inkt uit een gele markerpen).

### Voorbereiding

Een verduisterd lokaal is niet vereist, maar werkt beter, een digitale camera ook.

### Uitvoering

Je startvraag is: *kun je licht zien waar je van opzij naar kijkt?* Schijn met de rode laserpen op de muur. Je ziet alleen een vlekje tot je met de plantenspuit waternevel in de lichtstraal spuit. Je ziet dan niet het licht zelf maar licht dat door verstrooiing van de waterdruppeltjes in je oog terechtkomt. Licht dat rechtstreeks in je oog schijnt, zie je ook maar is met laserlicht schadelijk.

Zet vervolgens achter elkaar een fles water, een fles met olijfolie en dan weer één met water in de bundel. Schijn met de rode laserpen. Het zal opvallen dat er een rode straal licht in de olijfolie zichtbaar is en dat de stip laserlicht op de muur nu minder fel is. Verstrooiing van het licht aan de olijfolie verklaart dat je de straal van opzij ziet en er minder licht dan eerst over is en op de muur valt. Benadruk: net als eerder is het licht dat de muur bereikt *niet* verstrooid in de olijfolie.

Vertel dan dat je hetzelfde met een groene laserpen gaat doen. Laat leerlingen voorspellen wat ze gaan zien. Laat ze hun waarnemingen omschrijven, beschrijven en vergelijken. Voer nu uit. Je neemt waar dat je in de fles olijfolie een oranje lichtbundeltje ziet en dat de stip op de muur is nog steeds groen is. Met waternevel zie je voor en na de fles een groen bundeltje.

De leerlingen schrijven vast zo iets op als:

"Het licht is eerst groen, wordt oranje in de olijfolie en dan weer groen". Deze uitspraak lijkt correct, maar hoe zou dan dat veranderen van de kleur van het licht in zijn werk gaan? Hoe wordt een groene lichtstraal even oranje en dan weer groen? Waarom zien we het licht van midden uit de olijfolie dan als oranje, en is dat niet terug groen geworden?



De groene laserstraal lijkt oranje te kleuren in olijfolie.

Bespreek met het (kwalitatief) energieniveauschema van bladgroen (zie onderstaande figuur): een foton met voldoende energie kan geabsorbeerd worden, en vervolgens wordt een ander foton uitgezonden. Dat heet fluorescentie. Het uitgezonden foton kan maximaal de energie hebben van het geabsorbeerde foton. Er is immers geen bron die extra energie kan leveren.

Met een BINAS zoekopdracht kunnen leerlingen vervolgens nagaan dat de rode fotonen zodoende niet door oranje fotonen vervangen kunnen worden maar groene wel. Ook oranje fotonen kunnen niet op deze manier door groene vervangen worden.

Help leerlingen vervolgens voor zover mogelijk zelf het proces te beschrijven en tekenen waarbij een groene lichtstraal voor en na de fles en een groene vlek op de muur gezien werd, maar een oranje lichtstraal daarbinnen.

Controlevraag. *Sommige fotonen ontstonden door verstrooiing, andere door fluorescentie. Wat is voor de energie van de fotonen het belangrijkste verschil tussen die processen?*

Zoek op wat de term 'fluorescentie' te maken heeft met het element fluor.

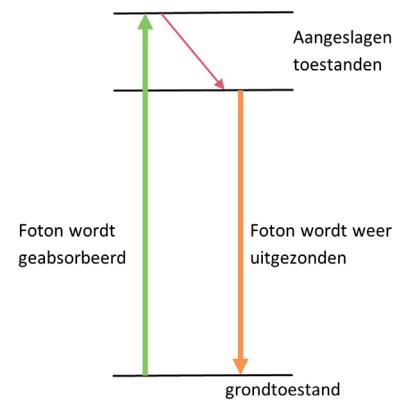
### Natuurkundige achtergrond

De energie van de fotonen volgt uit  $E_f = h \cdot f$

Voor de frequenties geldt:  $f_{\text{rood}} < f_{\text{oranje}} < f_{\text{groen}}$

Bij fluorescentie wordt een (hier groen) foton geabsorbeerd door het systeem en wordt een deel van de energie afgestaan (hoe is onbelangrijk) voor het systeem naar de grondtoestand terugkeert.

Zie figuur. Het daarbij uitgezonden foton, bij bladgroen oranje, heeft maximaal de energie van het oorspronkelijke foton. Een oranje foton kan verderop niet vervangen worden door een groen foton, de daarvoor benodigde extra energie ontbreekt. De rode lichtstraal bleef rood om een andere reden. Kennelijk heeft een rood foton te weinig energie om geabsorbeerd te worden, het kan hooguit verstrooid worden zonder energieverandering.



*Energieniveauschema bij fluorescentie in olijfolie*

### Verder onderzoek

Aanvullend kun je het fluorescentiespectrum meten.

### Veiligheid

Vermijd dat laserlicht in ogen schijnt, pas op voor reflecties aan de fles olijfolie. Gebruik alleen lasers uit klasse 2 van minder dan 1 mW, veilig bij oogreflex, met bekende specificaties (Groene lasers hebben soms ook een veel intensere maar onzichtbare infrarode bundel).

## B58 INDUCTIE BUIZEN



10-20 minuten



V5/6

Een magneet die door een spoel valt, wekt een inductiespanning op. Bij deze demonstratie kijken we naar een magneet die door een plastic buis en door een aluminium buis valt. Beide buizen hebben zes gelijke spoeltjes die op gelijke afstanden over de buis zijn aangebracht. We bekijken de gemeten inductiespanning tegen de tijd met programma Coach 7.

### Nodig

Plastic buis en aluminium buis met minimaal 3 identieke spoelen op onderling gelijke afstand eromheen (inductiebuizenset CMA 081 of zelf maken); interface; spanning sensor (+/- 500 mV en +/- 10 V); statieven; staafmagneet; zachte ondergrond onder de buis.

### Voorbereiding

Zet de buizen vast in de statieven. Plaats de buizen perfect verticaal. Sluit een spanningssensor (+/- 10 V) aan op de spoelen rond de plastic buis. Verbind de sensor met een ingang van de interface. Voor de aluminiumbuis is een spanningssensor (+/- 500 mV) beter geschikt. Stel de spanningssensor in op 0 V. Stel de Coach 7 activiteit zo in dat er 1000 metingen per seconde verricht worden. Zorg voor een triggertijd van 0,1 s (trigger op de spanning sensor op 100 mV) en laat de meting maximaal 2 s duren.

### Uitvoering

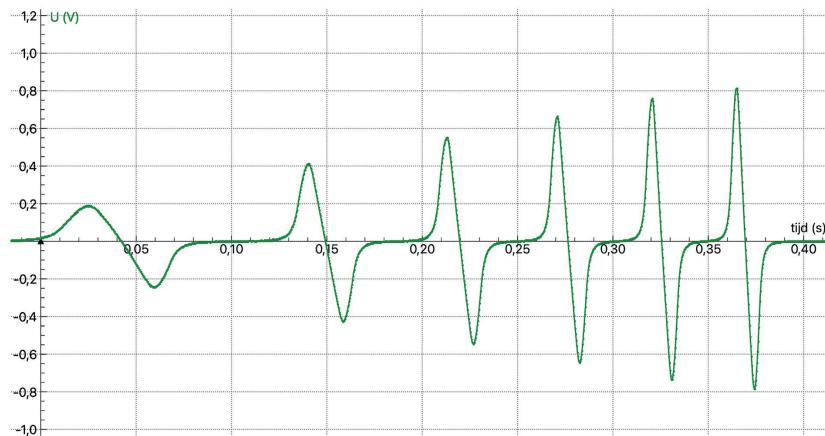
Beweeg een magneet door een spoel en laat zien dat deze een spanning opwekt. (Schets de grafiek van één beweging van een magneet door een spoel op het bord.)

Projecteer het Coach 7 scherm tijdens de meting op het digibord. Druk op start meting of F9, Coach 7 wacht op de triggervoorkaarde. Laat de magneet door de plastic buis vallen.



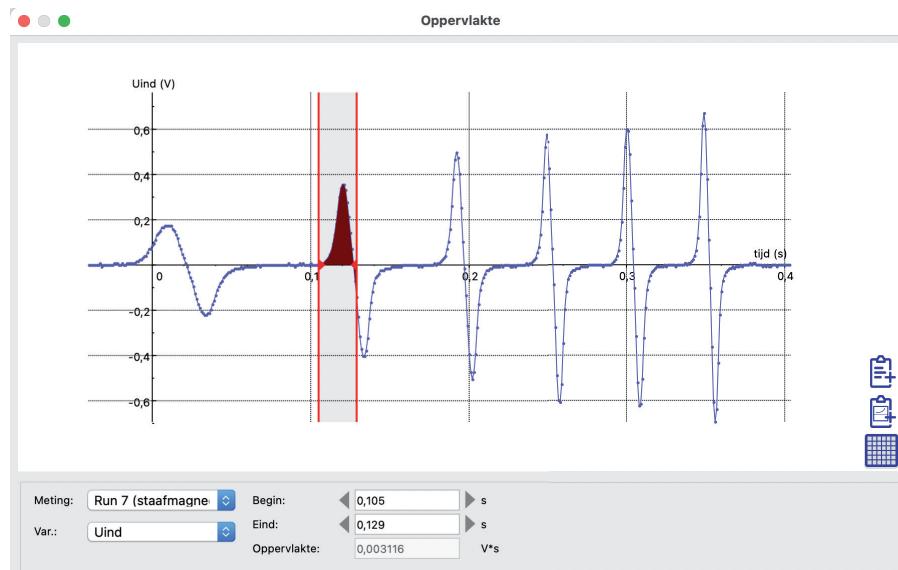
Opstelling met links de aluminium buis en rechts de plastic buis

- Toon het  $(U, t)$ -diagram van het vallen van de magneet door de plastic buis (zie figuur hieronder).



*Elk van de zes spoelen van de plastic buis geeft een signaal als de vallende magneet passeert. De verschillen tussen de grafieken per spoel geven ruimte tot discussie.*

- Hoe verschillen de zes grafieken onderling? Geef een verklaring.
- Gebruik de oppervlakte bepaling onder de optie **Analyse/verwerking** om te laten zien dat de oppervlakte onder elke piek van de grafiek van een spoel dezelfde waarde geeft. De oppervlaktewaarde van zo'n piek is ook weer gelijk aan de oppervlakte onder een dal (zie figuur hieronder).



*Met Coach 7 kun je de waarde van de oppervlakte in Vs bepalen.*

- Waarom moet deze oppervlakte gelijk zijn?
- Herhaal de proef met de aluminium buis.
- Controlevraag: Wat verwacht je van de grafiek die er gemeten gaat worden?

## Natuurkundige achtergrond

Een naderend magneetveld veroorzaakt een stroom in een spoel die het naderende magneetveld tegenwerkt door een tegengesteld magneetveld te maken (Wet van Lenz). De spoel werkt eveneens een verdwijnend magneetveld tegen door een aantrekend magneetveld te maken. Hierbij wisselt dus de stroomrichting in de windingen van de spoel.

Doordat de magneet valt en dus versnelt zal de snelheid per spoel anders zijn. Je krijgt de laagste gemiddelde snelheid bij de eerste spoel en de hoogste gemiddelde snelheid bij de onderste spoel. Als we een plastic buis met zes spoelen nemen, dan krijg je alleen een tegenwerkende magneetveld in de zes spoelen. Bij de aluminium buis zal de magneet de tegenwerkende magneetvelden gedurende zijn gehele val "voelen". Bekijk ook demonstratie B27 in Showdefysica 2.

De inductiespanning is te berekenen met de wet van Faraday:

$$U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ en dus } U_{\text{ind}} \cdot \Delta t = N \cdot \Delta\Phi$$

Omdat het product van  $N \cdot \Delta\Phi$  constant is (het aantal windingen per spoel is gelijk en ook de magneetsterkte en de oppervlakte van de spoelen) moet ook het product gelijk zijn. Dit product is de oppervlakte onder de grafieken. Als de magneet sneller valt wordt de inductiespanning groter en het tijdsinterval  $\Delta t$  dus kleiner.

## Tips

- Tester Timon Vrijmoeth merkt op dat het ook goed te doen is met slechts drie spoelen per buis.
- Als je de absolute waarde van  $U_{\text{ind}}$  neemt, dan is de verandering van  $U_{\text{ind}}$  in de tijd te zien met alleen positieve toppen. Dan is de toename van de valsgesnelheid duidelijk te zien. Eventueel kun je hiermee de valversnelling bepalen.

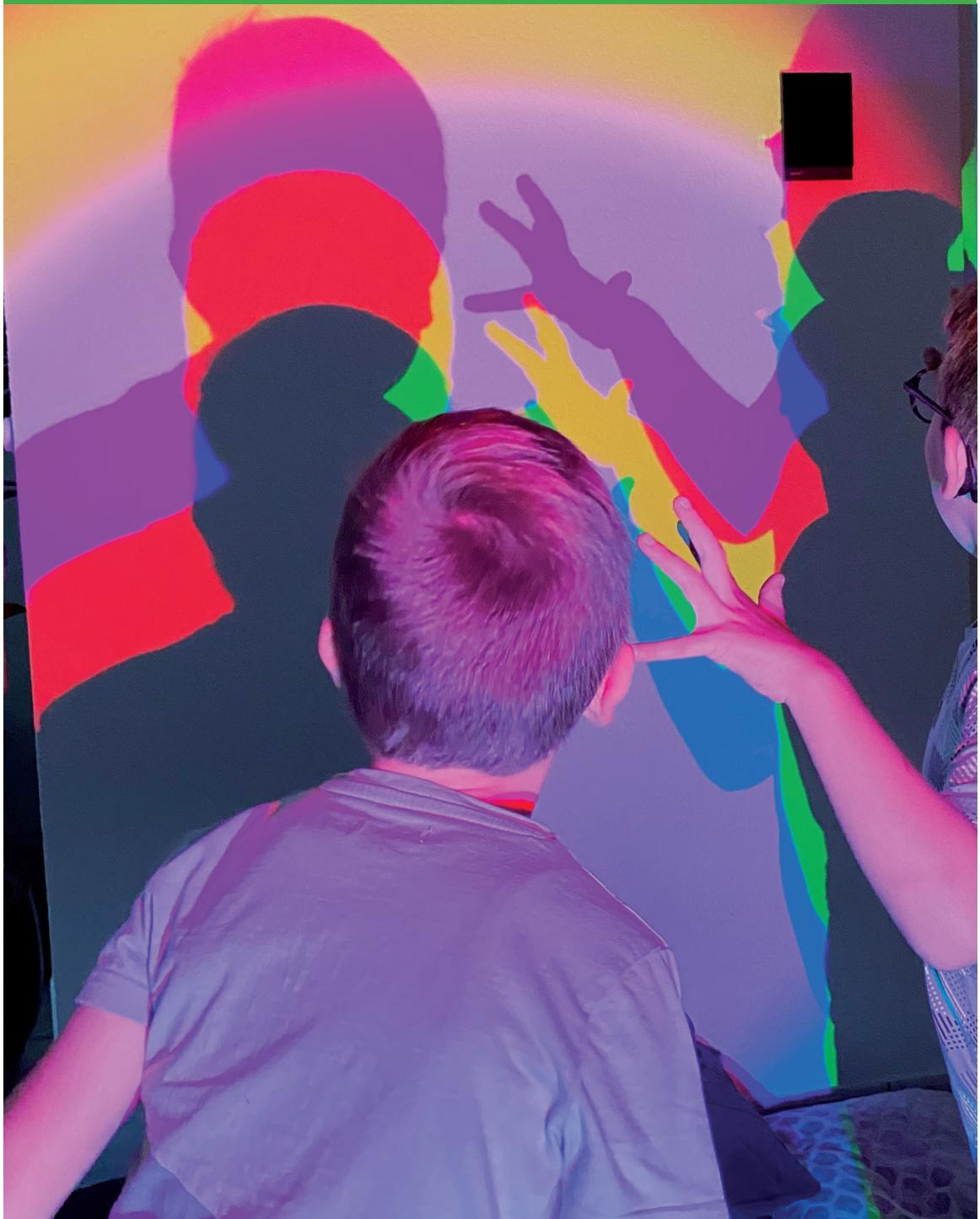
## TOONHOOGTE



Een kam met tanden dicht bij elkaar en verder van elkaar. Ga met je duimnagel eroverheen en je hoort verschillende toonhoogtes. Je kunt ook de snelheid variëren natuurlijk.

# C

## Bijzondere gelegenheden



## C01 ROTERENDE MUNTEN



5 minuten

4 havo/vwo

Je houdt drie munten vast zoals in onderstaande afbeelding. De middelste munt is het kleinste. Laat de onderste munt los terwijl je de bovenste munt vasthouwt. Opvangen op je andere hand. De kleinere munt zal ook vallen. Welke munt zal op je hand onder terecht komen?

### Nodig

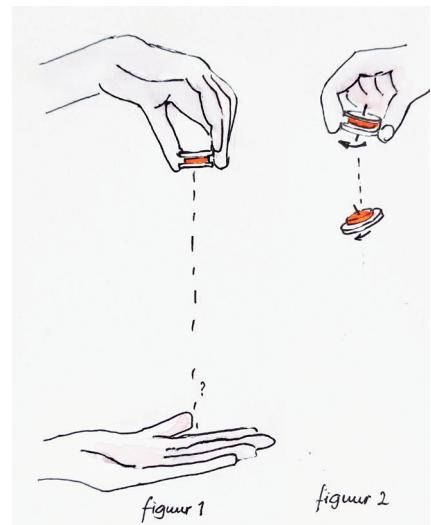
5 eurocent munt en twee 50 eurocent munten.

### Voorbereiding

Even oefenen om de verticale valafstand goed te bepalen.

### Uitvoering

1. Houd de munten vast zoals in afbeelding.  
Laat de onderste munt los zodat hij valt.  
De middelste munt valt vanzelf ook.  
*Welke munt zal onder liggen op mijn opvanghand?*
2. De kans is groot dat iedereen voorspelt  
dat de grotere munt onder is. Voer de demonstratie uit. *Wat zie je gebeuren tijdens het vallen?*
3. *Kan ik ook de grootste munt onder krijgen? Waar moet ik de opvanghand houden om de grootste munt onder te laten komen?*



Opzet en handeling

### Natuurkundige achtergrond

Het is onmogelijk beide kanten van de munten tegelijk los te laten als je de bovenste munt vasthouwt. De twee munten voeren daardoor een gezamenlijke rotatie uit. Over een afstand van ongeveer 20 cm vindt dan een halve rotatie plaats en de kleine munt landt onder de grote.

Als er een halve rotatie plaatsvindt over 20 cm, hoeveel moet je je 'opvanghand' onder de andere hand houden opdat de zware munt beneden komt en er dus een hele rotatie is geweest? Het publiek zal geneigd zijn te voorspellen:  $2 \times 20 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$ .

MAAR: de munten vallen versneld terwijl de rotatie een constante draaisnelheid heeft. In de dubbele tijd nodig voor een volledige rotatie, vallen de munten 4x de afstand nodig voor de halve rotatie, dus ruwweg 80 cm!

Met weddenschappen over dit experiment kun je misschien geld verdienen! Je moet wel even oefenen om de afstand tussen de handen goed te krijgen en de munten telkens netjes op te vangen.

### Tip

Een variatie. Probeer voor het laten vallen de munten een draai te geven. Dan roteren de munten niet om een horizontale maar om een verticale as. Behoud van impulsmoment houdt de positie stabiel. Ze roteren hooguit een kleine precessie om de verticale as.

### Bron

R.D. Edge (1987). String & Sticky Tape Experiments. American Association of Physics Teachers (p 1.48).

## TOTALE INTERNE REFLECTIE EN GRENSHOEK



Neem een kleine aquariumbak, zet het neer, wacht totdat het wateroppervlak zo glad is als een spiegel. Kijk dan schuin van onderen tegen het wateroppervlak aan. Het spiegelt! Het is echt een waterspiegel. Met een laserpointer kun je dat goed demonstreren. Maar je kunt ook gewoon een voorwerp aan de andere kant van de bak leggen en dat zie je dan in die waterspiegel! Lichtstralen van dat voorwerp worden door de onderkant van het wateroppervlak gespiegeld in de richting van de ogen mits de hoek maar groter is dan de grenshoek dus ruwweg groter dan 45 graden.

## C02 LUIDSPREKER VAN PAPIER



5-20 minuten

vanaf klas 2

Resonantie spreekt zeer tot de verbeelding. Er zijn tal van experimenten mee te doen, vaak spectaculair. Daarnaast zijn platenspelers weer helemaal actueel. Aangezien een platenspeler gebaseerd is op een naald die meetrilt met het patroon op de plaat, liggen hier mogelijkheden om resonantie te laten horen met wat huis-, tuin- en keukenmiddelen.

### Nodig

Platenspeler; plaat (die bekraast mag worden), naald; conus (zelf vouwen is een optie, maar ook een kartonnen feesthoedje kan goed dienstdoen).

### Voorbereiding

Vouw van een stuk stevig papier een conus. Prik aan de spitse zijde van de conus een naald door het karton. Lijm de naald vanaf de binnenzijde van de conus vast voor extra stevigheid. Zo ontstaat de 'luidspreker' van de foto. In de opstelling van de foto is een kartonnen feesthoedje gebruikt.



De platenspeler met een luidspreker van papier

### Uitvoering

1. Bouw de 'luidspreker', zoals beschreven en zoals te zien is in de afbeelding.
2. Plaats de naald op een draaiende plaat. Daarbij is het de uitdaging de druk van de naald op de plaat zo optimaal mogelijk te krijgen. Een te kleine druk geeft niet het gewenste resultaat en een te grote druk vertraagt de platenspeler (en bekraast de plaat).
3. Bij de juiste afstelling zal de muziek van de plaat te horen zijn door de 'luidspreker'.
4. *Hoe is het waargenomen verschijnsel te verklaren?*
5. *Zul je een zachter of harder geluid waarnemen bij gebruik van een (veel) grotere conus?*
6. Controlevraag: *Zul je een zachter of harder geluid waarnemen bij gebruik van een langere naald?*

### Natuurkundige achtergrond

De naald zal een plek vinden in de groef van de plaat en daardoor in trilling komen. Deze trilling wordt overgenomen door de conus en de lucht in de conus. Hierbij is er sprake van veel meer massa en dus zal het geluid versterkt klinken. Er is sprake van

resonantie. De naald draagt zijn trillingsenergie over op de conus en de lucht daarin.

### Tips

- Het bouwen van de opstelling vergt enige handigheid. De conus moet een redelijk grote omvang hebben voor het beste effect. Ook de naald moet stevig in het karton bevestigd zijn zodat deze goed stabiel op de plaat te plaatsen is.
- Het is behoorlijk lastig om de naald op dezelfde plek te houden, zodat de plaat onder de naald door kan draaien. Er zullen daarom gegarandeerd krassen op de plaat komen door de naald. Het gebruik van een waardevolle plaat is dan ook af te raden.

### Verder onderzoek

Je kunt een ontwerpopdracht maken waarbij leerlingen de conus met naald zo moeten ontwerpen dat het geluid zo goed en luid mogelijk waar te nemen is.

## WATERDRUPPEL ALS LENS 1

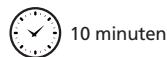


Gebruik wat ingevet of waterafstotend papier, bijvoorbeeld papiertjes uit een verpakking van kaas. Alternatief is een bankkaart of andere plastic kaart te nemen. Met een druppelaar of een rietje laat je een druppel water vallen op de kleine letters. Ziedaar een lens. De letters lijken nu groter. Laat leerlingen toch even met lichtstralen schetsen hoe dat kan.

## C03 AUTOMATISCHE WATERHOOGTE



Een regelsysteem dat zeker aandacht trekt



10 minuten



bovenbouw/onderbouw

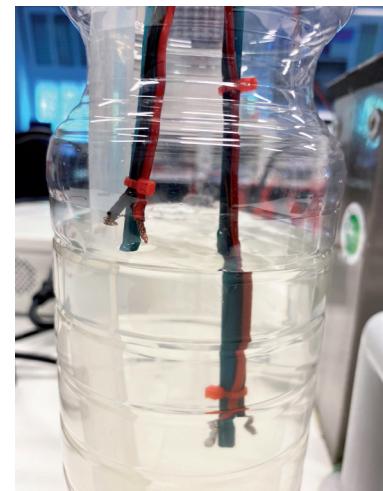
Het systeembord wordt op scholen nog gebruikt en het is erg leuk om dit te gebruiken om een werkend automatisch systeem te maken. Dit voorbeeld regelt vanzelf de waterhoogte in een fles. Het is eenvoudig in elkaar te knutselen en zorgt voor interesse bij de leerlingen die gegarandeerd willen weten hoe het werkt. Daar kunnen ze dan over nadenken, want de docent houdt de schakeling natuurlijk verborgen.

### Nodig

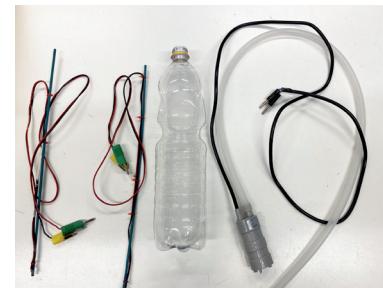
Petfles; systeembord; spanningsbron; waterpomp (12 V) met flexibele (siliconen) slang; twee dunne stokjes (60 cm); 2 dubbel geïsoleerd koperdraad ( $\approx 1,5$  m, bijvoorbeeld audiokabel); kleine tie wraps; 4 bananenstekkers.

### Voorbereiding

Maak een gaatje onder in de petfles. Strip de koperdraden aan beide kanten. Een kant wordt de 'sensor', aan de andere kant van de kabel montereer je twee bananenstekkers. De draden aan de sensorkant buig je een beetje uit elkaar en kun je eventueel met wat soldeer bedekken. Maak de draden met de sensorkant vast aan een stokje met de *tiewraps*. Je hebt deze sensor in tweevoud nodig. Schuif de stokjes in de petfles en plaats ze op verschillende hoogte in de fles. Schuif de siliconen slang van de waterpomp ook in de petfles. Sluit de bananenstekkers van de 'sensoren' aan op de 5V van een sensoringang (rode bus) en op de gele meetingang. Zie afbeelding. Sluit de waterpomp aan op de onderste twee bussen van het relais en de spanningsbron op de bovenste twee bussen van het relais. Maak de schakeling zoals in afbeelding. Dek het systeembord af met een doek. Plaats de opstelling op een geschikte plaats op het bureau. Laat de fles leeglopen in een wasbak of in dezelfde bak als waarin de waterpomp staat.



De petfles met 'sensoren'



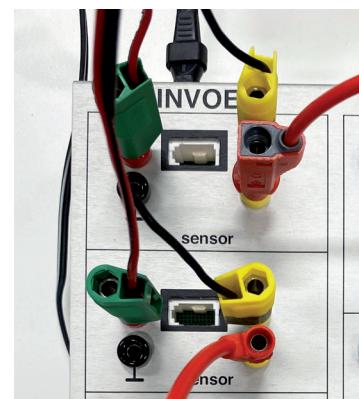
Benodigdheden

### Uitvoering

1. Vul de petfles met water door het relais even te verbinden met een hoge uitgang van het systeembord.
2. Zorg dat de opstelling werkt voordat de leerlingen binnenkomen. Door de doek zien

ze de schakeling niet, maar ze zullen graag willen weten hoe het werkt.

3. Het water zakt onder onderste sensor (sensor 1), de pomp gaat aan.
4. Welke waarde heeft het signaal van de onderste sensor dan (hoog of laag)?
5. Als het water de hoogte van de bovenste sensor 2 bereikt gaat de pomp weer uit.
6. Hoe werkt dit systeem, in stappen?
7. Geef de leerlingen een leeg systeembord (op papier/in tweetallen) en vraag of ze de schakeling kunnen tekenen/bedenken.
8. Controlevraag: Wat gebeurt er als je de sensoren dichterbij elkaar of verder uit elkaar plaatst?
9. Controlevraag: Zijn de sensoren die we hier gebruiken analoge continue sensoren of binaire sensoren? Leg uit.

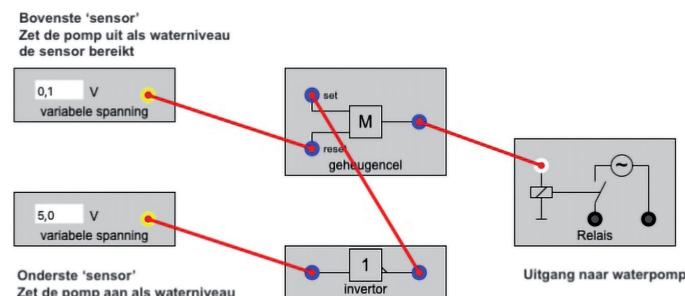


Onze zelfgebouwde 'sensoren' aangesloten op het systeembord. Het rode snoertje voert het uitgangssignaal naar de verwerking op het systeembord.

### Natuurkundige achtergrond

De onderste sensor zal via geleiding door water ongeveer 5V geven, dus een hoge waarde. Als het waterniveau onder de onderste sensor zakt, dan wordt deze waarde laag terwijl de pomp nu aan moet gaan. De 'sensor' is dus een 1-bit-sensor en is of 'hoog' of 'laag'. Een comparator is dan niet nodig. De waarde van de onderste sensor moet geïnverteerd worden.

Het signaal gaat via de inverter naar de geheugencel. De uitgang van de geheugencel gaat naar het relais om de waterpomp aan te sturen. Als het waterniveau de bovenste sensor bereikt dan moet de waterpomp weer uit. Het signaal van de bovenste sensor wordt hoog als het water de sensor bereikt. Dit signaal reset de geheugencel en de waterpomp gaat uit.



De onderste sensor schakelt de pomp aan en de bovenste sensor schakelt de pomp uit. In deze situatie staat het waterniveau tussen de onderste en bovenste sensor.

### Tips

- Plaats de fles met de hals in een statiefklem, dan staat de opstelling steviger.
- Plaats de pomp in een bak en laat de fles leeglopen in dezelfde bak. Dan kan de opstelling zonder menselijk handelen een hele tijd werken (ook leuk voor een open dag).
- Plaats bijvoorbeeld houten kralen in het water of geef het water een kleurtje zodat het waterniveau in de fles meer opvalt.
- Op de website staat een filmpje van een werkende waterhoogteregelaar.

## C04 WOLKVORMING



10 minuten

bovenbouw/onderbouw

Wolken spreken tot de verbeelding van kinderen. Ze zien eruit als kussens vanuit een vliegtuig of op een mooie dag. Veelal weten leerlingen niet hoe ze ontstaan. Deze demonstratie laat dit snel en duidelijk zien. De demonstratie sluit goed aan bij weerkunde.

### Nodig

Vacuümpomp en -stolp; bekerglas met heet water; doosje lucifers; handdoek (om condens van de stolp te verwijderen na de demonstratie).

### Voorbereiding

Stel de opstelling goed zichtbaar op. Warm wat water op in een bekerglas of neem water uit de warmwaterkraan, zorg dat het water niet te heet is (tussen 50 en 70 °C).

### Uitvoering

1. Plaats een bekerglas met heet water onder stolp. Strijk een lucifer af en zorg bij het uitgaan van de lucifer dat de rook onder de stolp terechtkomt door de stolp over de lucifer te plaatsen.
2. Start de vacuümpomp. Het water gaat verdampen, eventueel kun je een thermometer of een temperatuursensor onder de stolp plaatsen om te laten zien dat verdampen energie aan de vloeistof onttrekt en de temperatuur van het water dus daalt.
3. Bij een bepaalde luchtdruk onder de stolp ontstaan er wolken. De stolp is niet meer doorzichtig.
4. *Zouden er wolken ontstaan als je de lucifer niet had gebruikt?*  
A. ja, dan is er meer wolkvorming;  
B. nee, dan is er geen wolkvorming;  
C. het maakt geen verschil.
5. Controlevraag: *In welke praktiksituaties treedt dit soort wolkvorming op?*



*Vacuümstolp, pomp, lucifer en bekerglas met heet water*

### Natuurkundige achtergrond

Door de lage druk gaat het water in het bekerglas sneller verdampen. Daardoor zakt de temperatuur in het bekerglas. Er komt veel waterdamp in de stolp. Bij een bepaalde luchtdruk zal waterdamp condenseren op de aanwezige rookdeeltjes.

Op grote hoogte is de luchtdruk lager en zal waterdamp kunnen condenseren op geschikte condensatiekernen in de atmosfeer, bijvoorbeeld op deeltjes die een vliegtuigmotor uitstoot. De waterdruppels in de wolk verstrooien alle kleuren van het zonlicht evenveel, daarom zijn wolken wit.

#### Tips

Er zijn varianten op deze proef te doen, waarbij een petfles met wat alcohol of druppels water erin, via bijvoorbeeld een fietspomp op een hogere druk wordt gebracht. De druk wordt dan snel verlaagd (door wegschieten van de dop) waarna een wolk te zien is. Zoek op 'Cloud Bottle' voor een leerlingenversie van deze proef.

## WATERDRUPPEL ALS LENS 2



Waterdruppel op digibord laten vallen dan zie je door de lenswerking de individuele RGB pixels. Leerlingen kunnen dat ook op hun smartphone doen, een waterdruppel op de lens van de smartphone en je hebt een microscoop.

## C05 RONDJES DRAAIEN IN EEN WIJNGLAS



10 minuten

bovenbouw H/V

Een wijnglas en een balletje zijn op elke school wel te vinden. Met wat oefening is het balletje een hele tijd in het omgekeerde glas te houden. Beginners gebruiken een wijnglas waarvan de kelk wat smaller wordt naar boven toe. Geoefende demonstrateurs gebruiken een wijnglas dat minder taps toeloopt.

### Nodig

Wijnglas; plastic balletje met een felle kleur.

### Voorbereiding

Oefen de demonstratie een aantal keer. Na wat oefening zal het zelfs lukken om het wijnglas rechtop te starten en op zijn kop te draaien zonder dat het balletje valt.

### Uitvoering

1. Leg het balletje op tafel of in het glas. Als je met het balletje op tafel start, dan zet je het glas over het balletje heen. Daarna kun je het glas snel rondjes laten draaien en zal het balletje meebewegen en kun je het glas optillen. Als je begint met het balletje in het glas, dan kun je het balletje laten roteren en met wat oefening ook rondjes draaiend in het glas laten blijven, terwijl je het glas op zijn kop draait.
2. *Waardoor valt het balletje niet uit het glas?*
3. *Maak een krachtensconstructie van de situatie.*
4. *Controlevraag: Zou de demonstratie ook werken als de glaswand perfect glad was?*
5. *Controlevraag: Hoe komt het dat motorrijders op de Wall of Death kunnen rijden als ze een geschikte snelheid hebben?*



Een wijnglas met een balletje dat rondjes beschrijft

### Natuurkundige achtergrond

De horizontale component van de normaalkracht van het glas levert de middelpuntzoekende kracht die nodig is om de knikker in het glas rondjes te laten draaien. De verticale component van de normaalkracht (en daarnaast een kleine wrijvingskracht van de glaswand op de knikker) houdt het balletje in het wijnglas. Hoe 'schuiner' het wijnglas des te meer is de normaalkracht omhoog gericht en zal het balletje eenvoudiger (met een lagere snelheid) in het glas blijven.

### Tip

Neem een redelijk breed glas. Een champagneglas is niet zo geschikt vanwege het hoge toerental dat nodig is om het balletje in het glas te laten blijven.

## C06 OPTICA MET LEDLAMPEN



Ledlampen zorgen voor lol en inzicht



10 tot 15 minuten per demonstratie



bovenbouw/onderbouw

Monochromatische ledlampen lenen zich voor leuke en leerzame demonstraties. Ze lenen zich ook uitstekend voor een onderzoek door leerlingen zelf. De felle kleuren in een verduisterd lokaal leveren een sfeer die leerlingen zeker zullen onthouden.

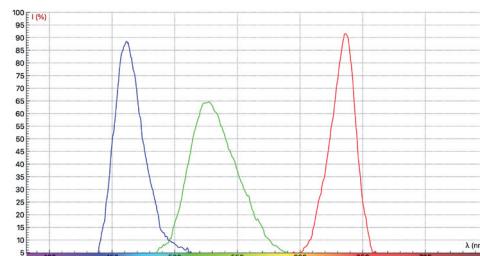
### Nodig

Bij alle onderstaande onderdelen (a t/m e) zijn monochromatische ledlampen rood, groen en blauw nodig.

- a. Spectrum maken: spectrometer, meetprogramma bijvoorbeeld Coach.
- b. Overlap van lichtbundels: wit scherm of plafond.
- c. Buigingsspectra laten zien: led-tv of laptopscherm.
- d. Verstrooiing van licht: goedkope witte kunststof voetbal.
- e. Rekenen aan de sterkte van lens van de lamp: houdertje voor de lens.



De gebruikte monochromatische ledlampen



a. Spectra van de monochromatische RGB-ledlampen bepaald met een spectrometer

### Voorbereiding

Bepaal welke demonstratie je wilt doen en leg deze materialen klaar.

- a. Start Coach 7 op, met de spectrometer aangesloten en kies de optie *Spectrometer* -> *emissiespectrum*.
- b. Test of het lokaal genoeg verduisterd kan worden. Laat de bundels elkaar overlappen en kijk of deze goed zichtbaar zijn. Verwissel eventueel de batterijen.
- c. Stapel de ledlampen op elkaar en richt tegelijkertijd of individueel op de tv of laptopscherm en kijk of het buigingsspectrum zichtbaar is.
- d. Plaats de ledlamp onder de bal en zorg dat de bal niet weg kan rollen.
- e. Demonteer de ledlamp en haal de lens uit de kop.

### Uitvoering

- a. Plaats de ledlamp op een geschikte afstand van de spectrometer of zorg met de computer dat de spectrometer niet overbelicht is. Neem een spectrum van de lampjes op. Zoek de pieken van de golflengte en bespreek met de leerlingen of ze

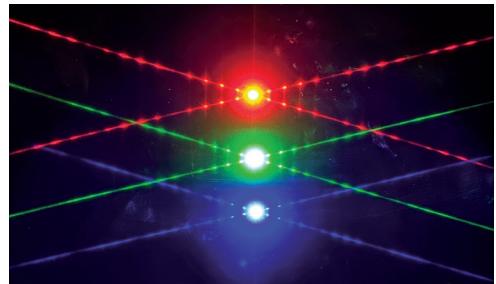
- de lamp wel of niet monochromatisch vinden. Vergelijk eventueel met een spectrum van een wit-licht-ledlamp.
- Laat de bundels elkaar overlappen en bespreek de mengkleuren van licht. Leuk is het ook om een schaduw te maken met verschillende kleuren. Laat leerlingen beredeneren in welke volgorde je de ledlampen hebt gelegd. Zie figuur.
  - Schijn met de rode ledlamp op een tv in een verduisterd lokaal. Bespreek het buigingsspectrum dat je ziet. Vraag de leerlingen om te voorspellen hoe het spectrum van groen en blauw van het getoonde spectrum verschillen (zie figuur).
  - Toon de diffuse verstrooiing aan de witte bal door deze voor de lamp te zetten. De bal krijgt dezelfde kleur als de ledlamp (zie figuur). In goede omstandigheden zou de bal zelfs de mengkleur kunnen worden als je twee lampen gebruikt. Probeer de proef ook eens met een andere kleur bal (bijvoorbeeld rode bal). Wat gebeurt er nu met de kleur en waarom?
  - Bepaal de sterkte van de lens door bijvoorbeeld een 1 cm ruitje te vergroten en dan de vergroting en afstand van de lens tot het papier te bepalen. Bereken hiermee de sterkte van de lens (zie figuur).

### Natuurkundige achtergrond

- Het spectrum van de lampjes is redelijk monochromatisch.
- De mengkleuren van licht zijn wel bekend; leerstof voor de tweede klas.
- De kortste golflengte heeft de kleinste afbuiging. In de figuur is te zien dat het buigingsspectrum op de led-tv een combinatie is van een dubbele en enkele spleet.
- Het licht van de ledlamp komt in de witte bal en wordt intern diffuus verstrooid. De hele bal gaat dan de kleur van de lamp uitzenden.



b. Kleurenschaduw: de ledlampjes liggen naast elkaar, maar in welke volgorde?



c. Buigingsspectra van drie kleuren op het oppervlak van een tv-scherf ontstaan door het pixelpatroon van de led-tv



d. Verstrooiing op een bal

- e. In de figuur is te zien hoe de vergroting wordt bepaald.  
In een andere situatie vonden we:  
 $N = -3,0$ .  
Afstand van de lens tot het papier:  
 $v = 0,68 \text{ cm}$  gemeten.  
Voor  $b$  vinden we dan:  $-2,0 \text{ cm}$ .  
( $b$  is virtueel).  
Met de lenzenformule:  $f = 1,0 \text{ cm}$  of  
 $S = 1,0 \cdot 10^2 \text{ dpt}$ .

### Tips

- De gebruikte ledlampen zijn gekocht bij diverse internettwinkels. Kijk naar de lichtsterkte die de ledlampen genereren en kies voor veel licht uitzenden.
- De goedkope voetballen zijn bij de Action gekocht, maar de demonstratie kun je ook met pingpongballen doen.



e. Bepalen van de sterkte van een lens. De lens is een houder geplaatst. Deze houdt de lens op een vaste afstand van het papier. Op het papier is een maat van  $0,5 \text{ cm}$  afgetekend. Door de lens kijkend wordt deze nu vergroot naar  $1,0 \text{ cm}$ . De vergroting is hier dus gelijk aan  $(-2,0)$ .

## HALF- EN KERNSCHADUW

Een pen in een lokaal met tl-verlichting. De pen voor je houden en dan langzaam naar beneden bewegen naar het tafeloppervlak dan zien de leerlingen op het tafeloppervlak afhankelijk van de stand van de tl-lampen of een halfschaduw of een kernschaduw. Ik wil eerst dat ze de kernschaduw zien en daarna de pen een kwartslag draaien zodat het een halfschaduw wordt. En dan laten uitleggen natuurlijk.



Kern- en halfschaduw van een pen

## C07 CONTACTLOOS DUWEN



10-15 minuten



4-6 havo/vwo

Een paperclip of een aluminium muntje voorzichtig op een wateroppervlak gebracht, drijft. Daar zijn we niet verbaasd over: oppervlaktespanning! Maar hoe kun je de paperclip vooruitduwen zonder hem ergens mee aan te raken? Neem een plastic rietje, wrijf de punt met wat textiel. Houdt de punt nu achter de paperclip, en.... daar gaat 'ie.

### Nodig

Paperclip of aluminium muntje; aquarium; plastic staafje of rietje.  
Eventueel webcam; beamer; laserpointer.

### Uitvoering

Verzamel de klas om je heen of gebruik een webcam met projectie. Gebruik een vork om een paperclip of aluminium muntje voorzichtig op het water te leggen. Wrijf de punt van een plastic rietje met textiel. Houd het dan op korte afstand achter de paperclip of munt (zie afbeelding). Laat zien hoe je de beweging van het muntje of de paperclip kunt sturen met het rietje. Stuur de paperclip rond in het bakje of aquarium.

Laat nu de leerlingen in duo's of trio's brainstormen over het verschijnsel. *Welke begrippen zouden betrokken zijn bij dit verschijnsel? Op welke bekende verschijnselen lijkt dit? Zijn er suggesties voor een follow-up experiment zoals "wat gebeurt er als.....?"*

Dan volgt een klassikale discussie over de belangrijkste ideeën voor verklaring en vervolgens legt de docent uit hoe de vork in de steel zit, eventueel met ondersteuning van het laser experiment.

Een uitgebreidere discussie is met diverse follow-up experimenten om alternatieve verklaringen uit te sluiten of te ondersteunen is ook mogelijk, zie Berg & Schweickert (2009). Bijvoorbeeld voor het testen van directe elektrostatische interactie tussen paperclip en rietje: hang de paperclip aan een draadje, nader met een gewreven plastic rietje. Laat leerlingen voorspellen met een tekening van de ladingen.



*Plastic staafje 'duwt' de paperclip zonder de paperclip aan te raken.*

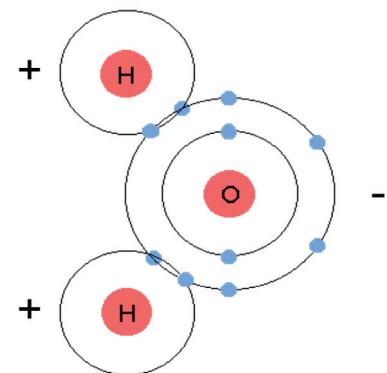
### Natuurkundige achtergrond

Een voor de hand liggende verklaring is elektrostatische inductie tussen rietje en paperclip, maar dan zou de paperclip juist moeten worden *aangetrokken* in plaats van afgestoten. Dan maar eens goed kijken. Wordt het wateroppervlak beïnvloed? Met

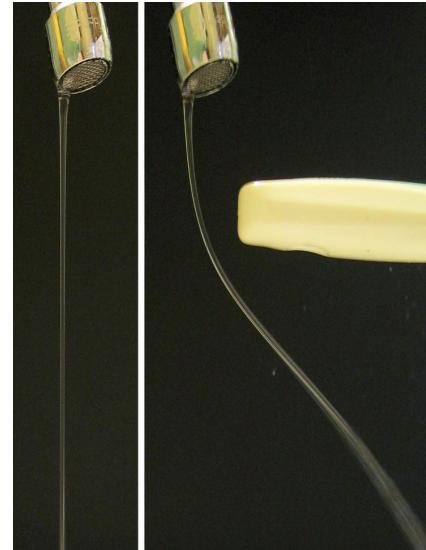
weerkaatsing van een laserstraal schuin op het wateroppervlak (invalshoek groot genoeg voor voldoende terugkaatsing) blijkt dat het water onder de tip van het rietje omhoogkomt. Wanneer het rietje nadert, is er een duidelijke verschuiving van de weerkaatste laserstraal op de muur. Er ontstaat een helling en de paperclip of het muntje glijdt van die helling af en wordt op die manier voortbewogen als een surfer op de voorkant van een golf. Waardoor komt het dat water aangetrokken wordt? De H-atomen zitten onder een hoek van 104 graden en zijn een beetje positief terwijl het O-atoom wat negatief is (zie de figuur). Onder invloed van het waarschijnlijk negatieve uiteinde van het rietje, draaien de watermoleculen met hun positieve kant naar het rietje en worden ietwat aangetrokken. Die aantrekking zorgt voor een heueltje in het wateroppervlak waar de paperclip vanaf glijdt. Dit herinnert ons natuurlijk aan de elektrostatische afbuiging van een waterstraal wanneer je die benadert met een geladen voorwerp (zie figuur).

#### Bron

Berg, E. van den, Schweickert, F. (2010). Van de Graaff generator als buitenboordmotor. NVOX, 35(1), 12.



Watermolecuul



Elektrostatische afbuiging van waterstraal  
(foto Jean-Christophe Baret, Universite de Strasbourg, Frankrijk, met toestemming)

## C08 DE ZWEVENDE RING



15-20 minuten

onderbouw

Demonstraties met statische elektriciteit zijn meestal spectaculair: Afbuigen van water (C07), haren die rechtovereind staan met vandegraaffgenerator, zeepbellen die afbuigen (Showdefysica 2; A15) en vele andere. Een leuke, snel uitvoerbare variant is de zwevende ring.

### Nodig

Dunne plastic zak; ballon; schaar.

### Voorbereiding

Knip uit een dunne plastic zak een smalle strook. Je hebt nu een ring. Blaas de ballon op.



Een smalle strook uit een plastic zak knippen levert de te gebruiken ring op.

### Uitvoering

Wrijf de ballon goed op met bijvoorbeeld je haren of trui. Plak deze nu even tegen de muur (geen tape nodig!). Wrijf vervolgens de ring (strook plastic zak) goed op. Pak de ballon er weer bij en 'gooi' de ring voorzichtig omhoog. 'Balanceer' de ring in de lucht met behulp van de ballon. Dit vraagt nog wel wat oefening. *Kunnen jullie verklaren wat er gebeurt? Hoe komt het dat het niet moeilijk is om de ring te balanceren?*

Controle. Maak een schematische tekening van de ballon tegen de muur. De elektronen aan de rand van de ballon duwen de elektronen bij de muur weg, de protonen bij de muur trekken de elektronen van de ballon juist aan. *Kunnen jullie nog meer verschijnselen opnoemen waarin sprake is van statische elektriciteit?*



Het balanceren is even oefenen maar gaat goed als de ring gemaakt is uit een dun strookje plastic.

### Natuurkundige achtergrond

De ring wordt afgestoten door de ballon omdat ze dezelfde lading hebben. Het balanceren is relatief eenvoudig omdat het een negatief feedback systeem is: als de ring dichter naar de ballon komt wordt de afstotende kracht groter.

---

### Tips

- Zie <https://youtu.be/We78EH0kHSY> voor een idee hoe het experiment er uit komt te zien.
- Bij droog weer werkt de demonstratie het best.

## OVERZICHT TESTERS EN FIGUREN

nr.	foto/illustratie	testers (behalve de auteurs)
A01	Paul Logman	Michel Vonk
A02	Peter Dekkers	Mac Koeleman, Reyn van Gelder
A03	Freek Pols	Govertjan de With, Daniëlle Cloots, Menno Kemmers
A04	Kirsten Stadermann	Rory Post, Tienke de Vries, Vita Vermeulen
A05	Aike Stortelder, Peter Dekkers	Aike Stortelder
A06	Peter Dekkers	-
A07	Freek Pols	José Roelofsen, Han Fortmann
A08	Freek Pols	-
A09	Kirsten Stadermann	Aike Stortelder
A10	Martijn Robben	Martijn Robben, Rory Post, Tienke de Vries
A11	Freek Pols	Patrick Diepenbroek, Robin Hamers, Rory Post, Tienke de Vries
A12	Freek Pols	-
A13	Kirsten Stadermann	Kars Verbeek, Aydin Ayhan, Michael Hermelijn
A14	Wouter Spaan, Peter Dekkers	Rory Post, Tienke de Vries, Bastiaan van Draanen
A15	Kirsten Stadermann	-
B01	Ineke Frederik	Dorus Brouwer
B02	Wim Sonneveld	Anita Tol, Roxanna Verkaik
B03	Ed van den Berg	Govertjan de With
B04	Ed van den Berg	Roxanna Verkaik
B05	Ed van den Berg	Kars Verbeek
B06	Karel Langendonck	Glenn Hille, Rory Post, Tienke de Vries
B07	Karel Langendonck	Dorothé Roelofs
B08	Karel Langendonck	Rory Post, Tienke de Vries, Cindy Smeets-Penners, Kars Verbeek, Vita Vermeulen
B09	Freek Pols	Tom Kooij, Patrick Diepenbroek
B10	Freek Pols	Tom Kooij, Patrick Diepenbroek
B11	Kirsten Stadermann	Vita Vermeulen
B12	Stefan Dekkers	Glenn Hille
B13	Norbert van Veen	Jacqueline Adriaans
B14	Norbert van Veen	-
B15	Norbert van Veen	Tom Kooij, Rory Post, Tienke de Vries
B16	Norbert van Veen	Peter Maas
B17	Norbert van Veen	Heidi Beuving, Eline Hanekamp
B18	Michel Vonk (1), Ineke Frederik (2)	Michel Vonk
B19	Ed van den Berg	Robin Hamers
B20	Renante Embalzado	-
B21	Naomi van Dalen, Jaimy Sulkers	Naomi van Dalen, Jaimy Sulkers
B22	Freek Pols	Wichard Oosterman
B23	Norbert van Veen	Wouter Spaan
B24	Norbert van Veen	Aike Stortelder
B25	Norbert van Veen	Aike Stortelder
B26	Norbert van Veen	Anita Tol, A.Spaander
B27	Karel Langendonck	Martijn Robben, Hans Mouws
B28	Stefan Dekkers	-

nr.	foto/illustratie	testers (behalve de auteurs)
B29	Karel Langendonck(1), Emma van Gool, Levi Jooren (2)	Emma van Gool, Levi Jooren
B30	Karel Langendonck	-
B31	Karel Langendonck	Rory Post, Tienke de Vries, Dorus Brouwer, Ben Halbesma
B32	Freek Pols	Govertjan de With, Kars Verbeek
B33	Kirsten Stadermann	-
B34	Karel Langendonck	Anita Tol
B35	Wouter Spaan	Hans Mouws
B36	Norbert van Veen	-
B37	Norbert van Veen	Wichard Oosterman
B38	Norbert van Veen	-
B39	Norbert van Veen	Ruben Koster
B40	Norbert van Veen	Timon Vrijmoeth
B41	Norbert van Veen	Wichard Oosterman
B42	Norbert van Veen	Tim Bouchee, Oda Warringa
B43	Norbert van Veen	A. Spaander
B44	Norbert van Veen	-
B45	Norbert van Veen	-
B46	Norbert van Veen	-
B47	Wim van Nood	Ben Halbesma
B48	Ed van den Berg	-
B49	Kirsten Stadermann	Aike Stortelder
B50	Wouter Spaan	Aike Stortelder, Tom Kooij, Kyara de Groot, Luca Stöber
B51	Stefan Dekkers	Kars Verbeek, Michel Vonk
B52	Stefan Dekkers	Kyrill Kriek
B53	Stefan Dekkers	-
B54	Stefan Dekkers	-
B55	Norbert van Veen	Wichard Oosterman
B56	Stefan Dekkers	Jake de la Rie, Mick Waasdorp
B57	Rutger Ockhorst	Kars Verbeek
B58	Norbert van Veen	Timon Vrijmoeth
C01	Ineke Frederik	Dorus Brouwer
C02	Karel Langendonck	-
C03	Norbert van Veen	Erik van de Leur
C04	Vita Vermeulen	Vita Vermeulen
C05	Norbert van Veen	-
C06	Norbert van Veen	Elisa Ter Wee, Luca Louwense
C07	Ed van den Berg (1 en 2), Jean-Christoph Baret (3)	-
C08	Freek Pols	-

## OVER DE AUTEURS



Ineke Frederik (1943) heeft als lerarenopleider en vakdidacticus natuurkunde en techniek gewerkt aan Fontys, aan de HR&O en aan de universiteiten van Leiden (ICLON) en Delft (SEC). Zij coördineerde de landelijke nascholing voor natuurkundeleraren, was voorzitter van de NVON-sectie natuurkunde en van VeDoTech. Van VeDoTech is zij erelid. Voor haar verdiensten voor het Nederlandse natuurkundeonderwijs kreeg zij in 2007 de Minnaertprijs; de NVOX-oeuvreprijs ontving zij in 2010. Als auteur en hoofdredacteur heeft Ineke vele publicaties op haar naam staan, waaronder het boek *Techniekdidactiek* dat op initiatief van ECENT is uitgegeven.



Wim Sonneveld (1955) studeerde Technische Natuurkunde aan de TU Delft. Hij was docent natuurkunde vanaf 1976 en later ook docent wiskunde, anw en NL&T. Vanaf 2000 werkte hij ook als lerarenopleider en vakdidacticus natuurkunde aan de TU Delft. Hij was lid van de commissie NiNa. Hij was actief in het *SaLVO-project* en bij *Getting Practical*. Als auteur heeft hij veel publicaties op zijn naam. Momenteel is hij eindredacteur van *Overal Natuurkunde* en *Overal NaSk* en coacht hij docenten natuurkunde.



Ed van den Berg (1951) studeerde natuurkunde aan de VU en promoveerde in Science Education aan de University of Iowa (VS). Hij werkte als docent/ontwikkelaar in lerarenopleidingen in Indonesië, de Filipijnen en in Nederland. Tot voor kort was hij lector natuur- en techniekonderwijs bij het Kenniscentrum Domein Onderwijs en Opvoeding van de HvA en docent vakdidactiek natuurkunde bij de lerarenopleiding van de VU. Hij was onder andere betrokken bij het project Moderne Natuurkunde en NiNa en publiceerde ruim 300 artikelen in tijdschriften voor docenten in binnen- en buitenland. Voor zijn verdiensten voor het natuurkundeonderwijs kreeg hij in 2015 de Minnaertprijs.



Peter Dekkers (1960) werkte als natuurkundedocent, lerarenopleider en vakdidacticus in Gaborone (Botswana), Amsterdam (VU), Polokwane (Zuid-Afrika), Utrecht (UU) en Nijmegen (HAN), en is nu verbonden aan de TU Delft. Hij is gepromoveerd aan de Vrije Universiteit op een vakdidactisch proefschrift, en heeft onderzoek gedaan op het gebied van begripsontwikkeling en Nature of Science. Hij begeleidt onderzoek op het gebied van de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden en van gamification in het natuurkundeonderwijs.



**Karel Langendonck** (1974) studeerde technische natuurkunde in Eindhoven. Hij werkte vijftien jaar in het voortgezet onderwijs als docent natuurkunde en is sinds tien jaar verbonden aan de Fontys Tilburg als lerarenopleider. Daarnaast was hij betrokken bij NiNa, was hij verbonden aan Schooltv, ontwikkelde hij lesmateriaal voor attractiepark Walibi Holland en was hij elf jaar lid van de constructiegroep voor de centrale examens vwo op CITO. Zijn doel is om natuurkunde aansprekend en leerbaar te maken voor leerlingen. Voor zijn verdiensten voor het vak natuurkunde in het voortgezet onderwijs ontving Karel in 2022 de Minnaertprijs.



**Freek Pols** (1986) was 10 jaar lang werkzaam als natuurkunde docent. Sinds 2019 is hij werkzaam als practicumcoördinator aan de opleiding Technische Natuurkunde van de TU Delft. In 2023 promoveerde hij op practicumdidactiek, specifiek leren onderzoeken. Zijn onderzoek richt zich nog steeds op de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden en -kennis, maar nu op universitair niveau.



**Wouter Spaan** (1982) is lerarenopleider aan de Hogeschool van Amsterdam. Naast het lesgeven in natuurkunde en (vak)didactiek doet hij onderzoek naar hoe je leerlingen effectiever kunt laten nadenken tijdens practica. De inzichten die dat oplevert, zijn ook goed bruikbaar bij demonstratie-experimenten, waarvan hij er veel gebruikt in zijn lessen.



**Kirsten Stadermann** (1966) studeerde natuurkunde en wiskunde aan de universiteiten Münster (D), Keulen (D) en Leiden. Ze begon als ontwikkelaar van FIR-ring-lasers aan het Max-Planck-Institut for Radioastronomy. Meer dan 20 jaar werkte ze met veel plezier als natuurkundedocent in het Nederlandse onderwijs. Ze werd natuurkundedocent van het jaar, nam deel aan 'Science on Stage' en zette zich in voor de bèta-topklas, natuurkunde excursies, olympiades en de introductie van NiNa. Ze promoveerde aan de RUG op het verband tussen Quantumphysica en Nature of Science in natuurkundelessen. Vervolgens werd zij vakdidacticus aan de Universiteit Flensburg (D) en Twente. Tegenwoordig is Kirsten op de UT verbonden aan de lerarenopleiding ELAN en de faculteit TNW.



**Norbert van Veen** (1976) heeft zijn bevoegdheid tot leraar Natuurkunde behaald aan de Hogeschool van Rotterdam. Zijn masterstudie Mathematics and Science Education heeft hij afgerond aan de universiteit van Amsterdam. Hij is betrokken geweest bij verschillende projecten van de Its Academy en is een aantal jaren in dienst geweest bij de HiSPARC onderzoeksgroep op het NIKHEF. Hij werkt naast zijn baan als natuurkundedocent ook als didactisch medewerker voor natuurkunde bij CMA.

## REGISTER

begrippen	pagina
absorptie	150
accommoderen	123, 162
afkoelen	114
afstand	106, 156
amplitude	160
atmosferische druk	38
beeldvorming	126
bewegingsenergie	30
bijzijdend	123, 162
boventoon	144, 146
branddriehoek	108
brandstof	48, 108
brekingsindex	142, 156, 197
buik	56, 144, 146
camera	162
chaostheorie	46
cirkelbeweging	66, 82, 88
condenseren	44, 50, 102, 111, 194
constante snelheid	96, 100
coördinatentransformatie	120
coulomb	178
derde wet van Newton	80, 96, 86
dichtheid	50, 78, 104, 110, 114, 116
dipool	200
drijven	78, 116
echo	156
eerste wet van Newton	71, 74
emissie	150
energie	104, 108
energiebehoud	182
energieniveau	182
energieomzetting	168
exoplaneet	148
extensieve groothed	104
fase	28
faseovergang	102, 111, 194
ferromagnetisme	166
filter	138
fluorescentie	182
flux	184
foton	61, 182
fotoreceptor	134
frequentie	35, 120, 136, 142, 160
gasdruk	30, 66, 98
geluidssnelheid	132, 144

begrippen	pagina
gezichtsveld	180
G-kracht	80
gloeilamp	172
golf	35
golf lengte	120, 136, 142
golfsnelheid	136
grenshoek	142
grondtoon	128, 132, 144, 146
harmonische trilling	92
hevel	38
impuls	74
inductiespanning	184
influentie	141, 200, 202
intensieve groothed	104
intensiteit	160
interferentie	136
invertor	192
ir	158
kegeltjes	134
kinetische energie	160
kleur	134, 154
knoop	56, 144, 146
koken	102
kookpunt	102
koolstofdioxide	50
kracht	71, 74, 76
krachtenconstructie	92, 94
lading	164, 170, 178, 200
LDR	58
led	58
lens	126
lenzenformule	126, 197
lichtdip	148
lichtintensiteit	148
lichtsnelheid	156
lineaire vergroting	126
longitudinaal	144
lorentzkracht	170
luchtdruk	44, 100, 102, 194
magnetisme	46, 166
massa	71, 104
massaverdeling	90
materiaaleigenschap	144
mengkleur	197
midelpuntzoekende kracht	80, 82, 88, 92, 94, 130, 196
molecuulmodel	111, 118
monochromatisch licht	197
normaalkracht	94, 130, 196
omlooptijd	94
ontbrandingstemperatuur	48

begrippen	pagina
onzekerheidsanalyse	32
oog	123, 162
oppervlaktespanning	200
opwaartse kracht	88, 98
parallax	106
parallel	174
plaats	68, 71, 84
potentiaalput	160
PTC	172
pyrolyse	108
regelsysteem	192
relais	192
resonantie	28, 128, 132, 190
richting	74
rotatie	188
rotatiesnelheid	94
schokgolf	168
schuifwrijvingskracht	82
serie	174
snelheid	68, 71, 74, 196
soortelijke warmte	111, 114
spankracht	92, 120, 128
spanning	172, 174, 176
spectrum	158, 197
spiegel	180
spiegelbeeld	180
spiegelende reflectie	142
spoel	184
staafjes	134
staande golf	56, 120, 128, 132, 136, 144
statische elektriciteit	141
ster	138
steunpunt	90
stoom	102
stralingsdruk	61
stroming	50, 66, 110
stroomkring	58
stroomsterkte	172, 174
systeembord	192
temperatuur	66, 98, 102, 104, 138, 150
terugkaatsing	154
tijd	68
traagheid	30, 74, 76
transit	148
transversaal	144
trilling	35, 56, 128, 160
trillingstijd	28, 92
tweede wet van Newton	71, 74, 80, 96
uitzetting	118
uv	158

begrippen	pagina
vacuüm	52, 61
vallen	188
valversnelling	32
verbranden	48, 108
verdampen	44, 102, 111, 194
verdampingswarmte	111
verduisteren	148
vergrotning	142, 197
vermogen	174
versnelling	54, 71, 74, 76, 80, 84, 96, 100, 188
verstrooiing	52, 197
verziend	123, 162
vlamkleur	48
vloeistofdruk	30, 38
volume	104
warmte	104, 110
warmtegeleidingscoëfficiënt	114
warmtetransport	98
waterdamp	50, 194
weerstand	172, 174
wet van behoud van energie	168
wet van Lenz	166
wet van Stefan-Boltzmann	114, 138, 152
wet van Wien	138, 152
wit oppervlak	150
wrijvingskracht	196
zien	134
zinken	78, 116
zuurstof	50, 108
zwaartekracht	98
zwaartepunt	90
zwart oppervlak	150
zwarte straler	152
zweven	116



De Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen is dé vakvereniging voor wie onderwijs in de natuurwetenschappen verzorgt. De NVON is een actieve vereniging van én voor alle docenten, toa's en docenten-in-opleiding in de vakken scheikunde, natuurkunde, biologie, ANW, NLT, wetenschapsoriëntatie, techniek en technologie. De meeste leden werken in het voortgezet onderwijs, maar er zijn ook leden werkzaam in het basis-, beroeps- en hoger onderwijs.

Eén van de doelstellingen van de NVON is de verbetering van de kwaliteit van het natuurwetenschappelijk onderwijs in Nederland en de bevordering van de kennisontwikkeling van zijn leden. NVON-leden delen vakinformatie, kennis en ervaring met elkaar: rechtstreeks uit de praktijk, vernieuwend, actueel en direct toepasbaar. De boeken van de NVON-reeks zijn daarvan een voorbeeld.

Wil je meer weten over het lidmaatschap en de voordelen daarvan, kijk dan op onze website: <https://nvon.nl>.

Ook kun je altijd informatie opvragen bij het secretariaat: [secretariaat@nvon.nl](mailto:secretariaat@nvon.nl).

NVON-leden kunnen de boeken in de NVON-reeks met korting kopen via de webshop [www.nvonwebshop.nl](http://www.nvonwebshop.nl)

**Eerder verschenen in de NVON-reeks:**

1. Practicum, ... ha fijn! (uitverkocht)
2. Evolutie in het voortgezet onderwijs (uitverkocht)
3. Ontwerpen moet je doen (uitverkocht)
4. Wereldwijde milieuveranderingen (uitverkocht)
5. Showdechemie (uitverkocht)
6. Contexten in Nieuwe Scheikunde (uitverkocht)
7. Showdechemie2 (uitverkocht)
8. Ruim en evenwichtig: ordeelsvorming in de biologieles (uitverkocht)
9. Meer over contexten in Nieuwe Scheikunde (uitverkocht)
10. Onderzoeken en ontwerpen met 4- tot 14-jarigen (herdruk)
11. Showdefysica: natuurkunde laat je zien
12. Nog meer over contexten in Nieuwe Scheikunde
13. Genetica in beweging (uitverkocht; beschikbaar als digitale download)
14. Showdefysica2: natuurkunde laat je zien
15. Ecologie leren & onderwijzen
16. Beter weten over eten
17. Plan Bèta: Bèta-onderwijs voor duurzame ontwikkeling
18. Showdechemie effectief demonstreren