



Showdefysica

NATUURKUNDE LAAT JE ZIEN

Ineke Frederik
Ed van den Berg
Leo te Brinke
Peter Dekkers
Wim Sonneveld
Wouter Spaan
Maarten van Woerkom





Showdefysica

Natuurkunde laat je zien

Ineke Frederik (eindredactie)

Ed van den Berg

Leo te Brinke

Peter Dekkers

Wim Sonneveld

Wouter Spaan

Maarten van Woerkom



NEDERLANDSE VERENIGING
VOOR HET ONDERWIJS IN DE
NATUURWETENSCHAPPEN

REEKS 12

Utrecht, Nederland 2015

Projectondersteuning en bureaudirectie

Henny Kramers-Pals

Ontwerp en vormgeving omslag en binnenwerk

Tim Jacobs, Identim, www.identim.nl

Druk

FIZZ marketing + communicatie, www.fizz.nl

Foto omslag

Frank Schweickert

ISBN/EAN

978-90-8797-011-6

Bestelwijze

U kunt het boek bestellen via ledenservice@nvon.nl onder vermelding van artikelnummer 59.

NVON-secretariaat

secretariaat@nvon.nl

© 2015 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	Paul Hewitt	5
Voorwoord		6
Dit boek		7
Over demonstreren	Ineke Frederik en Ed van den Berg	9
Demonstraties: doe het goed	Ineke Frederik	13
P(E)OE: Predict-Explain, Observe-Explain	Ed van den Berg	16
A Natuurwetenschappelijke vaardigheden		
01 Opwaartse en neerwaartse kracht	Ed van den Berg	20
02 De druk in een zeepbel	Maarten van Woerkom	22
03 Waardoor stijgt het water?	Peter Dekkers	24
04 Eieren kleuren	Peter Dekkers	26
05 Mysterieus fonteintje	Peter Dekkers	30
06 Leren modelleren met vallende bakjes	Ed van den Berg	32
07 Rollende voorwerpen	Peter Dekkers	34
08 DNA en pennenvoertje	Wouter Spaan	36
B Begripsontwikkeling		
09 Expanderende lucht koelt af	Ed van den Berg	40
10 Warm & koud, zout&zoet, en oceaanstromingen	Ed van den Berg, Liliane Bouma en Maria Antonia Jiminez Ruiz	42
11 Cappuccino en de condensatiewarmte van water	Jorn Boomsma, Frits Hidden, Anton Schins en Ed van den Berg	44
12 Archimedes: een gat in het water	Ed van den Berg en Jon Ogborn	48
13 De cartesiaanse duiker	Leo te Brinke	50
14 Vloeistof en gas	Leo te Brinke	52
15 Grootte van een molecuul	Wim Sonneveld	54
16 Geluidsvlam	Wim Sonneveld	56
17 Blussen zonder water	Wim Sonneveld	58
18 Warmtecapaciteit	Wim Sonneveld	60
19 Warmtegeleiding	Wim Sonneveld	62
20 Optillen van een vlam	Wouter Spaan	64
21 Lucht is niet niks	Peter Dekkers	66
22 Zwaar en licht ijs	Leo te Brinke	68
23 Hoogspanning	Leo te Brinke	70
24 Kanon van Gauss	Ineke Frederik en Maarten van Woerkom	74
25 Rollende magneten	Ineke Frederik	76
26 Mysteries met magneten	Ineke Frederik	78
27 De Kerstboom	Leo te Brinke	80
28 Groot en klein, serie en parallel	Maarten van Woerkom	82
29 Gloeilamp uitblazen	Wouter Spaan	84
30 Elektromotortje	Loran de Vries en Ineke Frederik	86
31 Knak-230	Wim Sonneveld	88
32 Constante nettokracht veroorzaakt versnelde beweging!	Ed van den Berg	90
33 Lanceren van een tennisbal	Ed van den Berg	92
34 Schuivende lat	Maarten van Woerkom	94



35	Newton's cradle, vijf slingers	Maarten van Woerkom	96
36	Kantelend luciferdoosje	Maarten van Woerkom	98
37	Twee veren, serie of parallel?	Maarten van Woerkom	100
38	Vallende veer	Maarten van Woerkom	102
39	Stapelen	Maarten van Woerkom	104
40	Schommelen tot je een ons weegt	Peter Dekkers	106
41	Eerste wet van Newton	Peter Dekkers	108
42	Raadselachtig rollen op de rails	Peter Dekkers	110
43	De sterke paperclip	Wouter Spaan	112
44	Met glazen slingeren	Loran de Vries	114
45	Een instabiel moment?	Leo te Brinke	116
46	Eieren, helmen en veiligheidsgordels	Ed van den Berg	118
47	Simulatie van radioactief verval	Maarten van Woerkom	120
48	Planck met leds	Ineke Frederik en Wim Sonneveld	122
49	Zonnebeelden en beeldvorming	Ed van den Berg	124
50	Staande geluidsgolven	Leo te Brinke	126
51	AH HA: totale reflectie	Maarten van Woerkom	130
52	Schaduw van een vlam	Wouter Spaan	132
53	Marketing met natuurkunde	Wouter Spaan	134

C Bijzondere gelegenheden

54	Spectaculair spectrum	Ed van den Berg en Frank Schweikert	138
55	Misthoorn	Ineke Frederik	140
56	Magische beeldvorming	Maarten van Woerkom	142
57	Spelen met dichtheid	Ed van den Berg en Niels Ran	144
58	Implosie	Ineke Frederik	146
59	Vallende kaars	Peter Dekkers	148
60	Ballen in de lucht houden	Wim Sonneveld	150
61	Luchtdruk en waterdruk	Ineke Frederik	152
62	Het drinkende eendje	Leo te Brinke	154
63	Toveren met slingers	Maarten van Woerkom	158
64	Onzichtbare gelbolletjes	Wouter Spaan	160
65	Ontstaan van de regenboog	Wouter Spaan	162
66	Onmogelijke driebalk en hollow face	Maarten van Woerkom	166

Broekzakdemo's (auteur: Ed van den Berg) zijn te vinden op de pagina's 47, 61, 63, 77, 129, 141, 147, 151, 157 en 159.

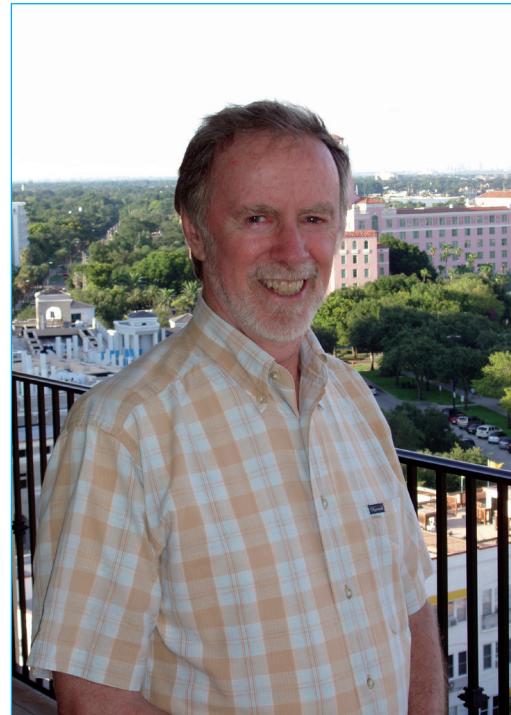
Begrippen in de demonstraties	170
Literatuur	172
Overzicht illustratoren en testers	174
Over de auteurs	176
Register	178
Over de NVON	182





Foreword

Physics instruction is wonderfully amplified with classroom demonstrations, for the senses of both sight and hearing are employed. We remember best what we see, and with a good explanation, we learn the underlying physics. On the cover we see a spectrum, reminiscent of a rainbow, that appears when an aquarium filled with water is placed on an overhead projector. As any sloshing of the water comes to rest, the spectrum beautifully unfolds on the wall. And when followed by a clear explanation, beautiful physics. In learning about inertia, who hasn't been impressed by a tablecloth quickly whipped from beneath a fully-set dinner table, with plates and glasses nearly undisturbed. Physics alive! And why "nearly" undisturbed? A good explanation of the slight displacement of plates and glasses turns this demo into an unforgettable learning experience.



Showing demonstrations that complement lessons to be learned is fun for all. Preparing requires a bit of extra work, but the rewards are great. Occasional frustration when demos don't "work as they should" is overcome with experience. Over time we learn tips and tricks to make our demonstrations more effective and more exciting. Students are inspired both by the demonstrations and the visible enjoyment of their teachers. I wish you lots of enjoyment in using the demonstrations collected in this book.

Good Energy,

Paul G. Hewitt

Paul G. Hewitt



Voorwoord

Dit boek bevat ruim zeventig demonstraties geschikt voor het huidige natuurkundeonderwijs. Demonstraties die het vak natuurkunde extra aantrekkelijk maken. Demonstraties zowel voor onder- als voor bovenbouw. Voor een reguliere les gericht op verdieping van het natuurkundig begrip, maar ook voor speciale gelegenheden zoals een open dag of een feestelijke gelegenheid. Ze mogen iets spectaculairs hebben. Maar er moet aandacht worden besteed aan de didactiek: aan het leereffect van de demonstratie, aan het activeren van de leerlingen en aan het motiveren van de leerlingen!

De demonstraties kunnen soms worden uitgewerkt tot een leerlingenpracticum of tot een profielwerkstuk. Suggesties daarvoor vindt u op www.nvon.nl/showdefysica, uitwerkingen niet. In dit boek ligt het accent echt op demonstraties! Heel bekende, maar ook wat minder bekende en telkens gericht op optimaliseren van het leereffect.

Magie

Een demonstratie moet magie hebben. Goochelaars gebruiken ook magie. Goochelaars zullen echter hun truc niet onthullen. Natuurkundedocenten daarentegen dagen hun leerlingen uit om de natuurkunde achter de demonstratie te vinden. Hun demonstratie hoort te passen in het leerproces van hun leerlingen.

Natuurkunde kent duizenden demonstraties: boeken vol, internet vol. Origineel zullen de in het boek opgenomen demonstraties dus niet helemaal zijn: ze zijn meestal geïnspireerd door wat elders in een of andere vorm gezien of gelezen is. Wel zijn de demonstraties uitgebreid getest in het onderwijs ofwel door de auteur en/of door een of meer testers onafhankelijk van de auteur. De keuze van de demonstraties en hun beschrijvingen in dit boek is voor rekening van het auteursteam.

Dank

Dit boek maakt deel uit van de NVON-reeks, waarin voor bèta-docenten interessante boeken zijn opgenomen. Henny Kramers is de grote stimulator van deze reeks. Dankzij Henny, haar inzet, stimulerende aanwezigheid en indrukwekkende zorgvuldigheid is dit boek er ook gekomen. Zonder haar tomeloze inzet: geen boek. Dank ook aan alle testers die demonstraties in hun eigen praktijk uittesten, van commentaar voorzagen en zo mogelijk een foto leverden.

Plezier

Als demonstrateur kun je veel plezier beleven aan je 'optreden' en aan de reacties van je toehoorders. De demonstrateur moet daarbij inventief bezig blijven en zo nu en dan een proef een nieuwe draai geven. Die nieuwe draai kan een 'theaterdraai' zijn, een inbedding in een verhaal, of wat dan ook. Die draai maakt dan de demonstratie tot iets onvergetelijks, waaraan zowel de leerlingen als de docent plezier beleven.

Plezier beleefden de auteurs ook tijdens de voorbereiding van dit boek. Dat plezier gunnen we onze lezers ook als ze straks een fascinerende, schitterende en leerzame demonstratie laat zien aan hun leerlingen.

Namens het redactieteam,

Ineke Frederik



Dit boek

Dit boek bevat beschrijvingen van natuurkundige demonstraties. Het bestaat uit drie delen elk met een ander vakdidactisch accent.

A: 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 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

Het grootste deel van dit boek bestaat uit demonstraties in categorie B. Deze demonstraties zijn gekozen vanwege hun geschiktheid een fysisch begrip of concept te verhelderen. Ze horen thuis in 'gewone lessen'. De beschrijvingen bevatten vaak stap-voor-stap suggesties voor de didactische uitvoering, inclusief mogelijkheden om leerlingen zelf zoveel mogelijk aan het denken te zetten. Ze stimuleren het fysisch denken en helpen leerlingen om een natuurkundig begrippennetwerk op te bouwen.

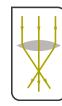
C: Bijzondere gelegenheden

Demonstraties spelen ook een rol bij bijzondere gelegenheden: 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 of 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 een beroep op gezond verstand. De uitkomst is vaak contra-intuïtief. De charme van natuurkunde komt in dit deel optimaal tot haar recht!

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



Materie en Energie: vloeistoffen, gassen, warmtetransport en – geleiding; dit betreft vooral de basisnatuurkunde.



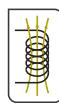
Golven en straling: afbeelden, geometrische optica, Fraunhoferlijnen.



Mechanica: statica, de wetten van Newton, traagheid en beweging.



Moderne fysica; constante van Planck.



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



Demonstraties met 'niks'

Om wat voor reden dan ook heb je geen gelegenheid gehad om een demonstratie klaar te zetten. Toch wil je natuurkundeverschijnselen en begrippen demonstreren en visualiseren. Hoe kun je dat doen met wat je normaal in een lokaal aantreft? Dat wil zeggen met tafels/stoelen, leerlingen, hun spullen, en wat je zelf normaal in je tas of broekzak hebt? Zonder specialistische apparatuur dus. Een tiental van dergelijke demonstraties is als bladvulling opgenomen, verspreid over het boek, steeds onder de naam **Broekzakdemonstratie**.

Origineel?

Zijn de beschreven demonstraties origineel? Verwacht dat niet. Ze zijn geïnspireerd door eerdere versies van de experimenten en door de auteurs bewerkt, zodat ze bij de didactische categorieën van dit boek passen. Ze zijn ruim getest in het Nederlandse natuurkundeonderwijs. Niet alleen door de auteurs van dit boek - allen ervaren leraren en natuurkundedidactici - maar ook door een grote groep natuurkundeleraren en toa's die bereid waren mee te werken. Achterin het boek zijn de auteurs van de proefbeschrijvingen te vinden, de namen van degenen die foto's namen en figuren tekenden, en ook de namen van de testers.

Meer of minder diepgang?

Precies aangeven voor welke leerlingendoelgroep de demonstratie bestemd is bleek lastig te zijn. Gaat het om waarnemen van verschijnselen en de beginnende vaktaalontwikkeling daarbij, dan zijn veel demonstraties al bruikbaar voor de basisschool. In de onderbouw van het voortgezet onderwijs zullen de demonstraties meestal kunnen worden ingezet bij kwalitatieve verklaringen op verschijnselniveau. Zodra begrippenketens nodig zijn voor een verklaring kom je 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 het niveau gauw bovenbouw vwo.

Bij dit boek hoort de website www.nvon.nl/showdefysica. Daar gaan we uitgebreider in op veel demonstraties vaak met soms aanzienlijke verdieping.

Zoeken

U kunt op verschillende manieren zoeken in dit boek:

- naar didactische categorie A, B of C;
- naar fysisch inhoudelijk onderwerp via de gebruikte symbolen;
- naar concept; achterin dit boek is een schema opgenomen waarmee je demonstraties kunt opsporen die bij bepaalde concepten (begrippen) passen;
- via het register;
- naar demonstratietijd; bij elke demonstratie is aangegeven hoeveel tijd hij bij benadering in beslag neemt.

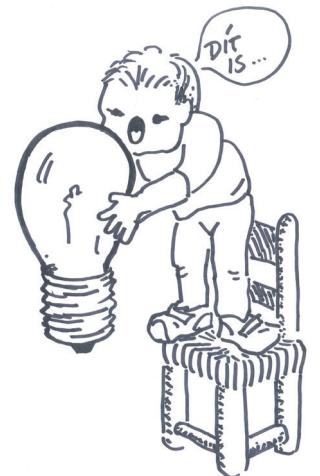


Over demonstreren

Demonstraties kunnen heel veel verschillende functies hebben. Soms zelfs verschillende functies tegelijk.

Bijvoorbeeld:

1. Aandacht trekken, interesse wekken, inspireren zowel in de klas als bij een invalles in een onbekende klas, of tijdens open dagen en andere bijzondere gelegenheden.
2. Laten zien van een verschijnsel, bijvoorbeeld wat is een spectrum, wat is breking (laserlichtstraal in bak water), hoe ziet interferentie eruit (watergolven of licht of geluid).
3. Ruimtelijk visualiseren van begrippen, bijvoorbeeld met bezemstelen de lichtstralen visualiseren bij reflectie en laten zien wat het betekent dat inkomende en uitgaande lichtstralen in één vlak liggen met de normaal, of de bewegingen van aarde, maan, en planeten visualiseren in een rollenspel of in 3D met ballen.
4. 'Verifiëren' of 'aannemelijk maken' van een natuurwet, model of formule door een experiment.
5. Communiceren dat in de natuurwetenschappen theorie moet worden getoetst aan verschijnselen en experimenteren.
6. Ondersteunen van begripsontwikkeling van leerlingen; vaak vereist dit een serie van experimenteren om voorkennis op te roepen, voorkennis te confronteren met het verschijnsel, en details en nieuwe vragen op te roepen.
7. Een onderzoeksproces illustreren.



In dit hoofdstuk geven we aan op welke aspecten je bij een goede demonstratie in de klas moet letten. De aspecten zijn triviaal, maar er wordt in de praktijk nogal eens niet aan voldaan.

Keuze van de demonstratie

Een demonstratieproef uitvoeren is zelden een doel op zich, in de trant van: "Kom, laat ik vandaag eens een demo uitvoeren". Een demonstratie heeft een functie in het leerproces. Zo móet het experiment lukken en het mag niet al te veel uitvoeringstijd vragen.

Voorbereiding

Elke demonstratie moet van tevoren getest worden. Denk vooral niet dat het doorlezen van een geloofwaardige tekst in een boek een succesvolle demonstratie garandeert. De praktijk is zowel technisch-inhoudelijk als didactisch altijd weer verrassender dan je denkt. Oefen de hele demonstratie tenminste eenmaal zonder leerlingen!

Let bij het voorbereiden op de volgende aspecten:

1. de *activiteiten* die van de leerlingen tijdens het uitvoeren van de proef verwacht worden. Structureer deze activiteiten van tevoren via:
 - een werkblad, dat je uitdeelt;
 - een tabel, die al voorbereid is op sheets of op het (Activ-)bord;
 - vragen, die aan de leerlingen worden gesteld;
 - een tijdsindeling van de verschillende onderdelen waaruit de proef is opgebouwd.



2. de wijze waarop de *wachttijden* gevuld kunnen worden;
3. de *deugdelijkheid* van het materiaal;
4. mogelijke *variaties* of uitbreidingen van de demonstratie;
5. de *veiligheid* van de demonstratie.

De opstelling verbeteren

Na het testen van de demonstratie is het tijd om aandacht te besteden aan een optimale opstelling van de apparatuur.

Daarbij moet je weer een aantal zaken in de gaten houden:

1. de *belangrijkste* elementen van de opstelling moeten de meest opvallende plaats krijgen;
2. de apparaten moeten *overzichtelijk* worden opgesteld; niet-gebruikte apparatuur hoort niet op de demonstratietafel thuis; de achtergrond moet rustig zijn;
3. de opstelling moet ook vanaf de achterste bank *goed zichtbaar* zijn; werk eventueel met verhogingen of gebruik een camera waarmee je inzoomt op details.

Als je bijvoorbeeld een demonstratie wijdt aan de wet van Ohm moet het stukje weerstandsdraad, de 'hoofdpersoon', niet ergens verscholen tussen twee krokodillenklemmen op de demonstratietafel liggen. Het moet duidelijk zichtbaar tussen twee statiefstangen gespannen worden.

Uitvoering

Na een voorbereiding, die vaak meer dan het halve werk is, kan de demonstratie worden uitgevoerd. Die voorbereiding krijgt zijn grootste rendement als de demonstratie didactisch met zorg uitgevoerd is. De volgende aspecten verdienen daarbij aandacht.

De introductie van de demonstratie

Vertel welk verschijnsel onderzocht gaat worden. Waar gaat het om? Wat is het leerdoel? Wat is de onderzoeksvraag voor de demonstratie?

Leg uit hoe de opstelling in elkaar zit of bouw deze in de les volgens plan op. Als een wezenlijk onderdeel te klein is om te worden gezien, laat de leerlingen dan komen kijken, loop er even de klas mee door of richt je camera erop voordat je gaat demonstreren.

Besef overigens wel dat het uitvoeren van een demonstratie, terwijl 25 leerlingen zich om de demonstratietafel verdringen meer vaardigheden van je vraagt dan alleen maar demonstreren. Is een effect echt te klein om achterin de klas gezien te worden, zoek dan naar vergrotingsmogelijkheden.

Vaak is het nuttig een schematische opzet van de demo op het bord te schetsen met alleen die details die strikt noodzakelijk zijn.

De positie van de demonstrateur tijdens de demonstratie

Ga niet tussen de klas en de demonstratie in staan; je bent nu eenmaal niet transparant.

De leerlingactiviteiten en suggesties uit de klas

Hoe richt je de aandacht van leerlingen zonder het demonstratieresultaat van te voren weg te geven? Zorg ervoor dat de leerlingen hun aandacht bij de proef houden; bedenk hoe je hen bij de proef betrekt en bereid de leerlingactiviteiten voor. Laat hen het resultaat van de demonstratie voorspellen. Bereid denkvragen voor, stel ze en dwing leerlingen individueel na te denken, bijvoorbeeld door ze individueel een voorspelling of verklaring op te laten schrijven of erover te stemmen met Socrative.



Vaak is het nuttig een werkblad te maken.

Beslis bewust of je wel of niet op suggesties van de klas in zult gaan.

Afsluiting van het experiment

Zorg voor een duidelijke conclusie, bijvoorbeeld met een onderwijsleergesprek. Wat hebben we gezien en geleerd van de demonstratie?

De demonstratie mislukt toch nog ...

Als je demonstratie ondanks alle voorbereidingen toch mislukt en je de fout niet snel kunt vinden, ga dan niet een half uur rommelen tot de bel gaat. Als 'oplossing' kun je bijvoorbeeld het experiment staken met de belofte er volgende keer op terug te komen of - als je dat aandurft - samen met de klas de oorzaak van de mislukking trachten op te sporen.

Het loont om ook eens vanuit het standpunt van de toeschouwer naar een demonstratie te kijken. Verplaats je eens in hun situatie en ga na hoe boeiend en leerzaam het gebodene is en vooral: hoe zou het nog beter kunnen.

Het standpunt van de toeschouwer

1. Wat doet of zegt de demonstrator bij de introductie van de demonstratie? Wat vind je hier sterk/ zwak aan?
2. Wordt de functie van elk onderdeel van de opstelling duidelijk uitgelegd? Welke suggesties kun je de demonstrator geven?
3. Wordt de bedoeling van de demonstratie aangegeven? Vind je dit duidelijk genoeg?
4. Is de opstelling voor iedere aanwezige zichtbaar? Hoe zou je dit nog beter kunnen doen?
5. Is de opstelling overzichtelijk? Geef suggesties om dit te verbeteren.
6. Zijn de toehoorders geïnteresseerd in de demonstratie?
7. Wat doet de demonstrator om het gehoor actief bij de proef te betrekken?
8. Blijkt uit de presentatie dat de demonstrator de proef grondig heeft voorbereid?
9. Verdeelt de demonstrator zijn of haar aandacht goed over de demonstratie en het gehoor?
10. Lukt het om het gehoor bij de demonstratie te blijven betrekken - ook tijdens wachttijden? Heb je suggesties om dit nog beter te doen?
11. Is de demonstratie duidelijk en overtuigend?
12. Is de demonstratie motiverend? Waaruit blijkt dat?
13. Was een individueel uitgevoerd experiment beter geweest? Geef voor- en nadelen aan.

Zichtbaarheid

Iedere leerling moet het verschijnsel of de handeling die je demonstreert goed kunnen zien. Soms vraagt dat nogal wat puzzelwerk. Is het verschijnsel niet zichtbaar, dan had je de demonstratie immers net zo goed niet kunnen uitvoeren!

Haal alles wat niet nodig is van de tafel af. Vergroot het effect eventueel met een webcam of ouderwetse overheadprojector.

Je kunt het verschijnsel ook vergroot op een scherm projecteren met een enkelvoudige lens, een projectiemicroscoop, een diaprojector of door middel van schaduwprojectie.



Voorbeelden van projectietechnieken

1. Webcam of camera met hdmi-aansluiting

Met een webcam aangesloten op een computer met beamer kun je vrij eenvoudig allerlei kleine verschijnselen en meetinstrumenten (uitvergroten en) direct zichtbaar maken.

Je kunt een video-camera met (mini)hdmi-uitgang ook direct aansluiten op een beamer of smartboard met hdmi-ingang. Dat geeft meestal een betere kwaliteit dan een webcam en heeft als voordeel dat je geen software nodig hebt.

2 De enkelvoudige lens

- Er bestaan projectethermometers die bijvoorbeeld gebruikt worden bij smelt- of stolproeven, bij stralingsproeven e.d. De doorzichtige schaalverdeling wordt dan met een enkelvoudige lens op de muur afgebeeld.
- De uitzetting van vloeistoffen. Een uitgewerkt voorbeeld staat op www.nvon.nl/showdefysica. Houd er rekening mee dat de lens het voorwerp omkeert! Dat is echt even wennen en is een duidelijk didactisch nadeel.

3. De overheadprojector

- De afbeelding van de doorzichtige schaalverdeling van een stroom- of spanningsmeter.
- De afbeelding van het interferentiepatroon in de buis van Kundt. Met een doorzichtige liniaal kun je de afstand tussen twee hoopjes kurk opmeten.
- De afbeelding van elektrische en magnetische veldlijnen. Als je de veldlijnenpatronen op het bord projecteert kun je ze overtekenen en eventueel bij verdere instructies gebruiken.

4. De projectiemicroscoop

(nog wel in gebruik bij biologie en scheikunde, samen met webcam)

- De Brownse beweging.
- Het oplossen van kristallen.
- Het uitkristalliseren van een zout.

5. Schaduwprojectie

- De schaduw van de blaadjes van een elektroscoop op een (matglazen) scherm. Sommige elektrosopen bezitten om gebruik te maken van deze methode een matglazen achterwand. Allerlei proefjes met de elektroscoop kun je zo goed zichtbaar voor iedereen laten zien.
- Het toestel van Van Musschenbroek. Ontwerp van de wijzers die lengteverandering van de metalen staven registreren een schaduwbeeld. Vergeet NIET om de nulstand van die wijzers aan te geven.
- Het aantonen van para-, dia- en ferromagnetisme door kleine staafjes materiaal (4-5 mm) in een sterk inhomogeen magneetveld te hangen. Van poolschoenen en staafjes wordt een schaduwbeeld op een scherm ontworpen.





Demonstraties: doe het goed

Natuurkundige demonstraties zijn mooi, inspirerend en leerzaam. Ze verdienen het om volop aandacht te krijgen in het onderwijs.

Demonstraties kosten ook veel tijd. Materialen bij elkaar zoeken en op elkaar afstemmen, onderdelen zo opstellen dat de aandacht uitgaat naar de hoofdzaak, presentatie voorbereiden. Leerlingen boeien en erbij betrekken. Vraagtekens oproepen. Spanning opvoeren, het verschijnsel laten zien. Zorgen dat je publiek jouw demonstratie nooit meer vergeet!

Zou je er wel aan beginnen??? Natuurlijk. Maar als je het doet: doe het dan goed!

Leer je van demonstraties?

Bijna iedereen die enthousiast is over bètaonderwijs herinnert zich wel een mooie demonstratie. Eentje die in het geheugen staat gegriffit. Eentje die je graag wilt delen omdat je er zelf zoveel plezier aan hebt beleefd. Maar heb je er beter natuurkunde van geleerd? Zijn de natuurkundige begrippen beter verankerd?

Een Amerikaans onderzoek (zie kader) vermeldt dat leerlingen die passief naar een demonstratie kijken er net zo veel (of net zo weinig) van leren als wanneer ze over de demonstratie in een boek lezen. Als onderwijsmens schrik je daarvan. Weglaten dus die demonstraties? Dan bespaar je in ieder geval tijd. Heel veel tijd. Het Amerikaanse onderzoek meldt gelukkig ook dat je het leereffect van demonstraties aanzienlijk kunt verhogen. Je moet dan de demonstratie *zó wijzigen* dat je leerlingen het resultaat voorspellen. Leerlingen die het resultaat van de demonstratie voorspellen voordat ze dat resultaat zien, leren veel meer. Ze tonen ook na enige tijd aanzienlijk meer inzicht en begrip, wat in het onderzoek tot uitdrukking kwam in een beter toetsresultaat. Of je iets leert van een demonstratie staat dan veel minder ter discussie.

Conclusie van een artikel in het American Journal of Physics

Despite popular beliefs to the contrary, students learn little, if anything, from traditionally presented classroom demonstrations.

Giving students a couple of minutes to predict the outcome and record these predictions costs very little time and yields better understanding. Involving students by having them predict the outcome of demonstrations is a simple step toward increasing student engagement and improving learning from demonstrations (Crouch et al., 2004).

Verrassen

Loop rustig voort met een basketbal in je hand. Wat gebeurt er als je al lopend de bal laat vallen? Bal en jij hebben dezelfde snelheid, dus Wat blijkt: de bal blijft na de stuit achter en komt minder hoog dan dat hij losgelaten is. Hoe kan dat? Zou het die wrijving weer eens zijn? En als ik die bal terwijl ik stilsta gewoon schuin naar beneden gooï? Voorspel dan de baan eens! Eerstejaarsstudenten natuurkunde tekenen onherroepelijk een baan waarbij de hoek van inval gelijk is aan de hoek van terugkaatsing. Toch eens goed kijken wat er écht gebeurt. O jé, ook dàt is veel ingewikkelder. Niks hoek van inval is gelijk aan de hoek van terugkaatsing. Hè? De bal roteert na botsing met de grond en gaat vervolgens steiler omhoog.



Een goede demonstratie verrast en roept vraagtekens op. Hij hoeft niet duur of ingewikkeld te zijn. De vraagtekens die hij oproept zijn nodig om te leren. Je leert pas wat als je iets afvraagt. Je leert van een demonstratie als die een antwoord geeft op een vraag. Het beste is het vraagteken in je hoofd dat voortkomt uit verbazing of verwondering over wat je ziet. Maar het kan ook een vraag zijn die door de docent geformuleerd is en die bij jou dan weer verbazing oproept.

De beschreven eenvoudige demonstratie met de basketbal -zorgvuldig ingekaderd in wat show- kan leerlingen al op hun verkeerde been zetten, vraagtekens oproepen en zo het begin vormen van hun fysische leerproces (Balsma & Frederik, 2004).

Leren van demonstraties

Demonstraties die vraagtekens oproepen zijn leuk. Maar zijn ze ook leerzaam? Niet vanzelfsprekend. Vraagtekens zijn nodig, maar niet voldoende. Veel regie blijft noodzakelijk. De docent moet het bijzondere van de demonstratie dramatiseren, uitvergroten, verkopen. Die vraagtekens in de hoofden van de leerlingen moeten wakker geschud worden. Vervolgens moet de docent oogsten. Anders is er immers geen sprake van leren. **Alle leerlingen moeten voorspellen.** Zo betrek je de leerlingen. Iedere leerling moet enigszins verbaasd zijn doordat er wat anders gebeurt dan zij of hij verwacht. Pas dan kun je toeslaan met je natuurkunde, met je model, theorie of formules. Oogsten doe je pas nadat leerlingen voorspelden en verklaarden. De demonstratie moet daarbij net als in het bovenstaande voorbeeld eerder uitgekiend dan duur zijn.

Spanning en plezier

Als ervaren demonstrator beleef je veel plezier aan je 'optreden' en de reacties van de toehoorders. Net als die goochelaar voer je als demonstrator de spanning op om de verrassing zo groot mogelijk te maken. En dan – zeker niet in de laatste plaats- zorgen dat de leerlingen er iets van leren. De demonstratie hoort nu eenmaal thuis in het curriculum en maakt wezenlijk deel uit van huidige natuurkundeonderwijs.

Daarbij is het ook van belang dat de demonstrator inventief bezig blijft en zo nu en dan een proef een nieuwe draai geeft. Die nieuwe draai kan een 'theaterdraai' zijn, een inbedding in een verhaal, of wat dan ook. Die draai maakt dan de demonstratie tot iets onvergetelijks, waar zowel de leerlingen als de docent plezier aan beleven.

De demonstratie moet zo worden uitgevoerd dat het verschijnsel waar het om gaat goed zichtbaar is voor alle toehoorders. Kunnen de leerlingen niks zien dan had de demonstratie immers net zo goed niet uitgevoerd hoeven te worden. Als dat verschijnsel te klein is, vergroot je het, bijvoorbeeld door grotere objecten te kiezen of er een camera op te zetten en het beeld te projecteren.

Demonstratie versus practicum

Wanneer doe je een demonstratie en wanneer doe je leerlingenpracticum? Natuurlijk doe je een demonstratie als een proef te gevaarlijk is voor leerlingen om zelf te doen (bijvoorbeeld bij gebruik van hoogspanning, of bij werken met stoom), of als je te weinig apparatuur hebt, of onvoldoende lestijd. Velen denken dat het voor het begrip beter is om leerlingen zelf het experiment te laten doen dan om het te demonstreren voor de klas. Maar een leerlingenpracticum roept veel ruis op. Het is maar de vraag of leerlingen daarin duidelijkheid krijgen over de begrippen. Bij een demonstratie kan een docent heel duidelijk een begripslijn neerzetten en vasthouden. Daarbij kan een docent ervoor zorgen dat leerlingen zien wat ze moeten zien en niet afgeleid worden door op



dat moment irrelevante details. Onderzoek over effectiviteit van demonstraties versus practicum laat tot dusver 'no significant differences' zien (Garrett & Roberts, 1982; Millar, 2010).





P(E)OE: Predict – Explain, Observe – Explain

Bij veel verschijnselen komen leerlingen en leken tot voorspellingen waar ze veel vertrouwen in hebben en die toch fout blijken te zijn. Onze intuïtie zit er nogal eens naast. Juist dan kunnen demonstraties extra motiverend en nuttig zijn, maar dan moet je als docent wel optimaal het contrast tussen voorspelling en uitkomst benadrukken en proberen het denken van alle leerlingen te stimuleren in plaats van alleen het denken van een paar slimmeriken.

Alle leerlingen

Alle leerlingen formuleren dus individueel hun verwachtingen/voorspellingen op papier met onderbouwing. Alle leerlingen observeren het resultaat van de demonstratie. Alle leerlingen betrek je bij het oplossen van het verschil tussen voorspelling en observatie. Dat kan goed met een Predict-Observe-Explain (POE) demonstratie. Beter nog is de term PEOE (Predict-Explain-Observe-Explain) om te benadrukken dat we van leerlingen een voorspelling met redenering vragen en niet zomaar een gok. Die voorspelling kun je dus alleen vragen bij demonstraties waarbij leerlingen zelf voorkennis hebben en denken dat ze wel weten wat er zal gebeuren. Daarom is niet elke demonstratie geschikt voor het PEOE-model.

Stappen

Stappen in PEOE worden in tabel 1 geïllustreerd met het triviale voorbeeld van een grote en kleine vallende steen (figuur 1). (Zowel de massa als het volume van de stenen zijn verschillend). Veel leerlingen (en hun ouders) verwachten dat een grote steen sneller zal vallen dan een kleine.

Tabel 1. Stappen in PEOE.

Stap	Stappen in PEOE	Voorbeeld
1	Laat zien hoe je het experiment gaat uitvoeren of vraag "hoe kan ik onderzoeken of ...?". Kom dan met de leerlingen tot een opzet voor de demonstratie en zorg ervoor dat die duidelijk is voor alle leerlingen voordat ze gaan voorspellen.	Ik (docent) heb twee stenen, een grote en een kleine. Hoe kan ik onderzoeken welke het snelste valt?
2	Predict – Explain: Laat leerlingen individueel hun verwachting opschrijven (voorspellen wat er zal gebeuren) en de reden daarvoor. Dit kan gewoon in het schrift of op een speciaal werkblad. Het kan ook met meerkeuzevragen in www.Socrative.com of www.plickers.com .	Ik laat de stenen tegelijk vallen door mijn hand naar beneden weg te trekken (figuur 1). Schrijf op, welke steen het eerst de grond zal raken. Leg uit waarom je dat denkt.
3	Een korte inventarisatie van verwachtingen. Het belangrijkste is dat leerlingen merken dat er verschillende voorspellingen zijn en meestal met een 'redelijke' argumentatie. Doordat ieder een voorspelling met reden heeft opgeschreven (of heeft gestemd op Socrative), kan elke willekeurige leerling gevraagd worden bij te dragen in de discussie in plaats van alleen vrijwilligers.	Inventarisatie van redenen voor de drie mogelijke voorspellingen (grote, of kleine steen, of gelijk). Resultaat van stemming en eventueel argumenten noteren op het bord.

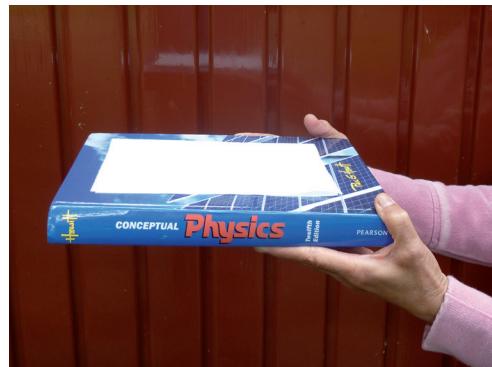


4	Observe: Experiment, laat iedere leerling de eigen observatie opschrijven voordat er discussie is. Wanneer dit niet gebeurt, zullen leerlingen hun observaties 'aanpassen' zodra discussie start en worden verschillen in observatie niet duidelijk. Meestal is het mogelijk het experiment te herhalen totdat er overeenstemming is over de observatie of meting.	De docent gaat op de tafel staan met de twee stenen en laat ze vallen op het tafel oppervlak, of op een plankje op de grond dat goed herrie maakt. Iedereen luistert naar het resultaat. Evenueel 1 of 2 leerlingen er vlakbij om ook de ogen te gebruiken. Herhalen tot allen het eens zijn over het resultaat.
5	Explain: Leerlingen vragen onderling te overleggen (denken-delen-uitwisselen) over een verklaring van de observatie of meting. In de dan volgende klassikale discussie (stap 6) kan opnieuw aan elke leerling gevraagd worden bij te dragen.	Denken-delen-uitwisselen over de vraag of grootte iets te maken heeft met valsheid.
6	Klassikale discussie.	Klassikale discussie en conclusie dat grootte blijkbaar niets uitmaakt. Zijn er voorbeelden van voorwerpen die niet gelijk de grond raken?
7	Noteren van complete uitleg op bord of verwijzing naar schrift.	
8	Zijn er andere vergelijkbare verschijnselen die we nu ook kunnen verklaren?	Demonstratie voortzetten met voorwerpen waar luchtwrijving een rol speelt, bijvoorbeeld eerst een A4-papier, dan een prop, dan blad A4 bovenop boek leggen en samen laten vallen. Zie figuur 2.

Bij de meeste PEOE's ben je met stap 7 klaar. Bij vallende voorwerpen moet je ook de rol van wrijving onderzoeken zoals aangegeven in stap 8.



Figuur 1. Grote en kleine steen.



Figuur 2. Dubbelgevouwen A4 + boek.

Alleen als leerlingen zich bewust zijn van hun eigen verwachtingen/voorspellingen, zal er aandacht zijn voor de demonstratie zelf. Het opschrijven van de voorspelling en een bijbehorende redenering zorgt voor meer betrokkenheid dan alleen klassikaal vragen en dan antwoord krijgen van een slimme leerling. Door alle leerlingen te vragen naar de redenering achter hun voorspelling krijgt de docent ook inzicht in leerlingdenkbeelden. Leerlingen merken dat er verschillend over het verschijnsel wordt gedacht, er zijn botsende voorspellingen en verschillende ideeën over het verschijnsel. Dat genereert de motivatie om uit te vinden hoe het echt zit. Het helpt leerlingen hun eigen leren te evalueren en nieuwe denkbeelden te construeren.

Mitchell (1995) geeft het volgende advies op grond van zijn ruime POE-praktijkervaring:

1. Het is zeer belangrijk dat leerlingen zich realiseren dat ze niet alleen staan in



hun voorspelling. Daarom is het belangrijk de denkbeelden van de klas samen te vatten en terug te rapporteren aan de klas. Een effectieve manier om dit te doen is voorspellingen op te laten schrijven in een handig format zodat de docent door even rondlopen snel kan inventariseren.

2. Leerlingen moeten zich veilig voelen om hun mening te geven. Dus nooit beoordeling koppelen aan een PEOE, zelfs geen lof voor een correct antwoord. Benadruk naar leerlingen dat je geïnteresseerd bent in hun denkbeelden en dat zowel foute als correcte voorspellingen belangrijk zijn voor het klassikale redeneerproces én voor het eigen leerproces.
3. Een discussie na de voorspelling waarin de verschillende voorspellingen worden toegelicht en bediscussieerd werkt vaak goed. Die discussie gaat dus vooraf aan de observatie, de uitvoering van de demonstratie zelf.
4. Aan het eind van PEOE benadruk je dat incorrecte voorspellingen vaak heel begrijpelijk of zelfs 'logisch' zijn en dat ze heel nuttig zijn in het leerproces.

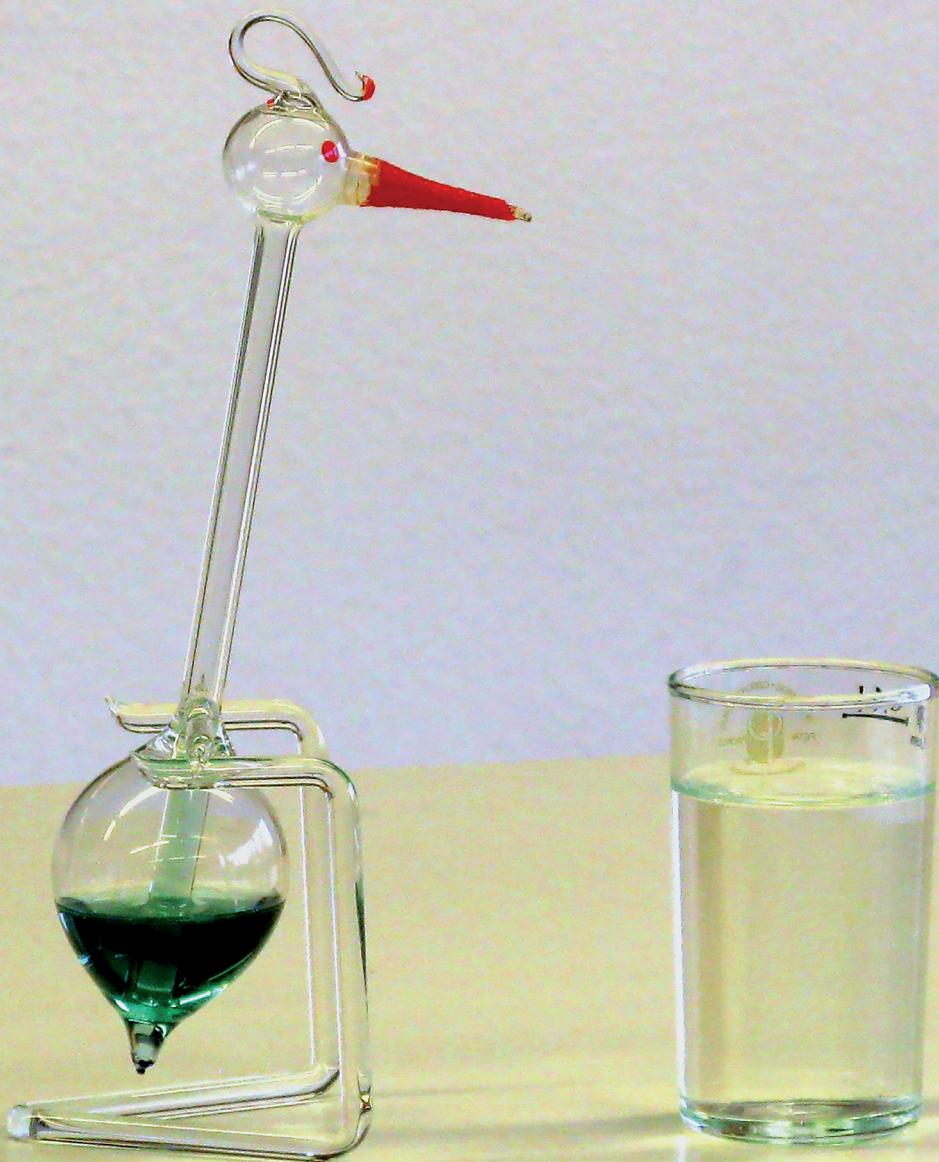
Zie White & Gunstone (1992, hoofdstuk 3) voor een zeer volledige beschrijving van de didactiek. Googel met als zoektermen 'POE' en 'physics demonstrations' om voorbeelden te vinden. Liem's (1987) *Invitations to Science Inquiry* bevat ruim 400 demonstraties met voor leerlingen verrassende uitkomsten.

PEOE - demonstraties in dit boek

De PEOE-aanpak is didactisch zo belangrijk is dat de meeste demo's volgens deze PEOE-aanpak zijn beschreven. De mate van uitschrijven van de uitwerking verschilt nogal.



A Natuurwetenschappelijke vaardigheden





01

OPWAARTSE EN NEERWAARTSE KRACHT



Predict, Explain, Observe, Explain



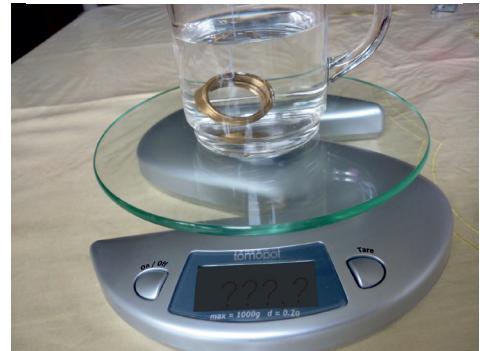
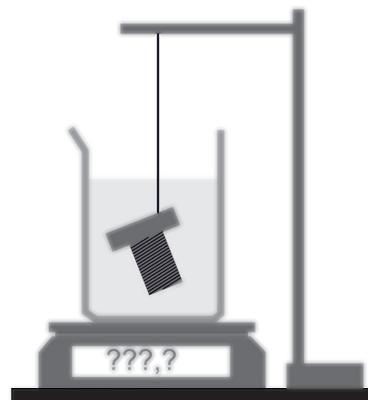
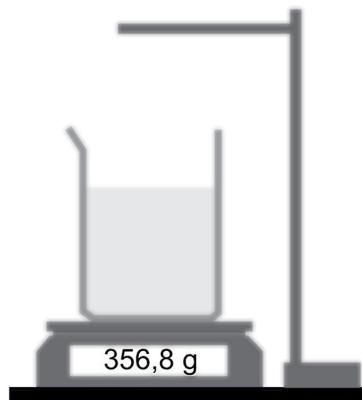
15 minuten



Klas 4

Begrippen: gewicht, opwaartse kracht, actie/reactie, druk

Dit is een typisch voorbeeld van een *Predict-Explain-Observe-Explain-demonstratie* over gewicht en opwaartse kracht. Leerlingen voorspellen wat er gebeurt met de massa die wordt aangegeven op de weegschaal als er een gewicht in het water wordt gehangen. Ze moeten hun voorspelling ook uitleggen. Er is veel verwarring, zelfs onder fysici die dit niet eerder hebben gezien.



Figuur 1a en 1b. Een beker water staat op een elektronische balans.

Figuur 2a en 2b. We hangen een forse schroef in het water of een ander metalen object.

Nodig

Elektronische weegschaal (nauwkeurigheid tot 0,1 g); bekerglas of drinkglas; touwtje; forse schroef of ander massief metalen voorwerp; veerunster (bijvoorbeeld 10 g).





Voorbereiding

Spullen op tafel zetten.

Uitvoering

Presenteer de opstelling (figuren 1a en 2a). Vertel dat je de schroef in het water zal laten zakken en vraag individuele voorspellingen in meerkeuzevorm, als volgt:

Wat zal er gebeuren met de massa aangegeven op de balans?

1. *Zal toenemen*
2. *Zal gelijk blijven*
3. *Zal afnemen*

Hoe verklaar je dit?

1. *Het gewicht van de schroef wordt volledig gedragen door het touwtje.*
2. *Er is een opwaartse kracht op de schroef en dus een gelijke kracht naar beneden op de beker.*
3. *De schroef heeft wat water "verplaatst" door het naar boven te duwen.*
4. *Anders, namelijk(vul in).*

Laat leerlingen hun voorspellingen met elkaar bespreken.

Plenair: inventariseer de voorspellingen en de argumenten daarvoor.

Doe het experiment en schrijf de resultaten op het bord.

Laat leerlingen nu eerst zelf een complete verklaring omschrijven voordat discussie losbreekt.

Als we nu de schroef laten rusten op de bodem, wat zal de weegschaal dan aangeven?

Waarom?

De docent schrijft enkele leerlingverklaringen op het bord. En nu de discussie!

Vergeet niet de discussie af te sluiten met een korte maar complete verklaring op het bord inclusief een krachtendiagram.

Nu nogmaals met touwtje aan veerunster in plaats van statief.

Natuurkundige achtergrond

De schroef ondervindt een opwaartse kracht die gelijk is aan het gewicht van de verplaatste vloeistof. Er is dus een kracht omhoog van de schroef ($F_{water\ op\ Schroef}$) en dus ook een kracht naar beneden van de schroef op het water ($F_{schroef\ op\ water}$) volgens Newton's 3de wet. De laatste kracht werkt door naar de weegschaal. Een alternatieve manier van verklaren is dat het water niveau omhoog gaat, daardoor neemt de druk op de bodem toe ($p=F/A=\rho hg$) en dus ook de kracht op de weegschaal.

Als het touwtje verbonden wordt met een veerunster, dan zal de toename op de weegschaal precies gelijk zijn aan de afname van kracht op de veerunster. Dit kan aan het eind gedemonstreerd worden. Gebruik voor de start de opstelling zonder veerunster.

Tip

Er zullen slimme leerlingen zijn die er toch naast zitten. Troost ze met de mededeling dat veel fysici hier ook fouten maken.

De demo is afgeleid van de demo *the-bolt-in-the-beaker* van het York Science Education Center.



02 DE DRUK IN EEN ZEEPBEL



10 minuten



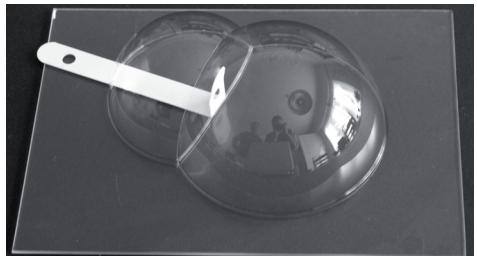
Vanaf klas 1

Begrippen: druk, overdruk

Wordt de druk in de bel groter of kleiner als je de bel verder opblaast? Bij deze demonstratie werken we met bellen die op een glasplaatje liggen. Het zijn dan halve bellen. Als je twee bellen tegen elkaar aanlegt, dan ontstaat er een tussenvlies. Zijn de bellen verschillend van grootte, dan is de druk in de bellen verschillend. Maak je een gaatje in het tussenvlies dan stroomt er lucht van de bel met de grootste druk naar de bel met de kleinste druk. Dus blaast de ene bel de andere op.

Nodig

Zeepwater, waarvan de samenstelling is: water, een klein beetje afwasmiddel en een klein beetje glycerine; limonaderietje; glasplaatje; een reepje plastic, bijvoorbeeld het strookje van een snelhechter. Overheadprojector of webcam om de zeepbellen aan een groter gehoor te tonen.



Figuur 1. Twee halve zeepbellen op een glasplaatje.
In welke bel is de druk het grootst?

Voorbereiding

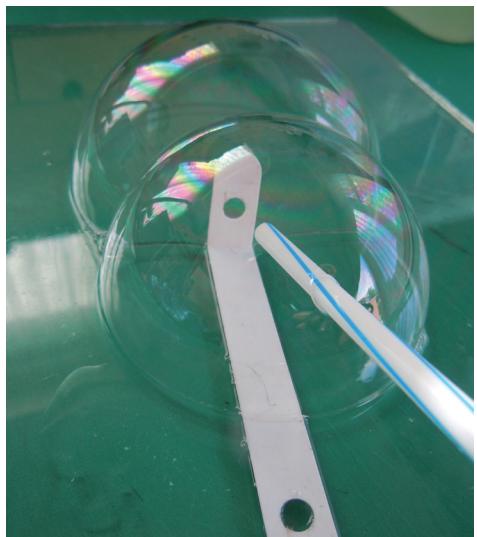
Maak de zeepoplossing. Bevochtig de benodigdheden. Oefen enkele keren in het wegblazen van het tussenvlies.

Uitvoering

Bevochtig het glasplaatje met zeepwater. Doop het uiteinde van het rietje in het zeepwater en blaas een halve bel door het rietje bij het glaslaatje te houden. Diameter 5 tot 7 cm.

Blaas een tweede halve bel die tegen de eerste komt te liggen. Diameter zichtbaar verschillend van die van de eerste halve bel. Maak het strookje van de snelhechter helemaal nat met zeepwater. Vouw het strookje zoals te zien is op de foto. Plaats het zodanig dat het opstaande stukje in het tussenvlies komt te liggen. Het gaatje in het strookje zal gevuld zijn met een vliesje.

Je maakt nu het rietje eerst helemaal nat en steekt het dan met een snelle beweging door een bel. Tot vlak bij het gaatje. Een krachtig pufje en het vliesje in het gaatje knapt.



Figuur 2. Met een krachtig pufje blaas je het tussenvlies weg.





En nu bekijken wat er gebeurt.

De twee halve bellen zijn nooit precies aan elkaar gelijk. Als ze gelijk lijken te zijn, dan zal het leeglopen van de ene bel in de andere spannend langzaam verlopen.

Uiteraard bespreek je eerst wat men verwacht. Zal de grote bel kleiner worden en de kleine bel dus groter. Of gebeurt het omgekeerde. En waarom?

Natuurkundige achtergrond

In tegenstelling tot de intuïtie van de meeste mensen is de luchtdruk in een kleine bel groter dan in een grote bel.

In een zeepbel heerst een luchtdruk, p_i . De luchtdruk buiten de bel, p_u , is lager. Voor het verschil, de overdruk p , geldt: $p = p_i - p_u = C/R$ waarin R de straal van de bel is en C een constante. Dus de overdruk is omgekeerd evenredig met de straal van de bel: hoe groter de bel, hoe lager de druk.

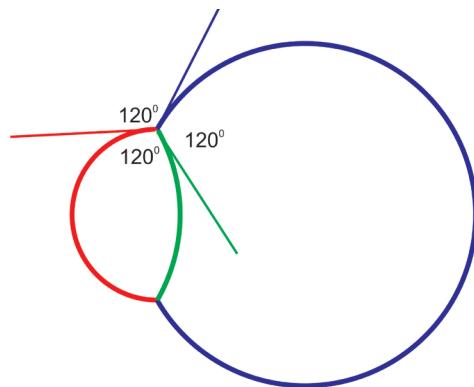
Waar drie vliezen bij elkaar komen, is de hoek tussen de vliezen 120° .

Dat zie je duidelijk als je raaklijnen aan de vliezen tekent.

De rode bel heeft een kleinere kromtestraal dan de blauwe bel. Het tussenvlies, groen getekend moet dus in de blauwe bel gedrukt zijn. Dit drukverschil is ook te zien aan de stand van het tussenvlies, zoals ook te zien is in figuur 1.

Er is een groot verschil tussen de eigenschappen van een vlies van zeep en van een ballon. Bij het opblazen van een ballon wordt het vlies steeds strakker gespannen.

Maar bij een zeepvliet blijft de spanning even groot.



Twee zeepbellen tegen elkaar aan

Tip

Je kunt een van de halve bellen ook opblazen met rook. Het gaatje in het tussenvlies wordt dan een schoorsteen.



03

WAARDOOR STIJGT HET WATER?



Een nieuwe kijk op een oud probleem



15 - 30 minuten



Vanaf klas 4

Begrippen: verwarmen en uitzetten van lucht, druk, verbranding

Iedereen weet dat de kaars uit gaat als de zuurstof in het glas 'op' is. Maar is dat het hele verhaal? Wat neem je nu *precies* waar in deze demonstratie? Zelfs als we allemaal naar hetzelfde kijken, zien we vaak heel verschillende dingen.

Waardoor stijgt de vloeistofspiegel in het glas? Dat kan op verschillende manieren worden uitgelegd. Welke argumenten voor en tegen iedere uitleg zijn er? Passen die argumenten bij alle waarnemingen?

Uit alleen maar waarnemen volgt geen wetenschappelijk inzicht, al helemaal niet als méér dan een verklaring goed lijkt te zijn. Het resultaat van onderzoek is vaak de conclusie dat meer onderzoek nodig is. Soms zelfs bij een oud en belegen probleem zoals dit...

De docent doet de proef maar dirigeert vooral de discussie om deze inzichten te doen ontstaan.

Nodig

Kaars; bordje; glas; wat water; eventueel kleurstof; lucifers.

Voorbereiding

Giet wat water in het bord, zo mogelijk met kleurstof, zet de kaars er midden in en steek die aan. Zet het glas gereed. Het moet zo groot zijn dat het de kaars of vlam niet aanraakt als je het erover zet.

Uitvoering

Een uitgewerkt scenario voor een *Predict-Observe-Explain* aanpak voor deze demo is te vinden op www.nvon.nl/showdefysica. Je vindt er een globaal, hypothetisch lesverloop, met suggesties voor vragen en opdrachten.

Zet je het glas over de brandende kaars, dan dooft die na een tijdje waarbij het waterpeil in het glas stijgt. Daarvoor zijn minstens drie verklaringen plausibel:

1. Het water neemt de plaats in van de zuurstof die bij verbranding opgebruikt is.
2. Als de vlam dooft daalt de temperatuur. Volgens de algemene gaswet nemen dan



Zet de jampot over de brandende kaars.



De kaars is uit. Waardoor is de vloeistofspiegel gestegen?





de druk en/of het volume af. De atmosferische druk duwt water naar binnen tot een nieuw evenwicht is ontstaan.

3. In de vlam ontstaat water, dat neerslaat als de vlam dooft. Dan neemt het aantal deeltjes in het gas af, dus ook de druk. De atmosfeer duwt water naar binnen tot een nieuw evenwicht ontstaat.

Laat leerlingen argumenten voor en tegen iedere verklaring bedenken, die uitwisselen, en tot een conclusie komen. De docent kan uiteindelijk ook een eigen inbreng leveren.

Natuurkundige achtergrond

(*Bij verklaring 3*). Bij volledige verbranding van kaarsvet (voornamelijk paraffine of stearine) ontstaan ruwweg voor iedere twee moleculen O₂, één molecuul CO₂ en twee moleculen H₂O. Dooft de vlam dan daalt de temperatuur sterk in dat gebied, en slaat daar H₂O neer. De druk in het glas neemt snel af, de atmosfeer duwt water naar binnen tot er weer evenwicht ontstaat.

(*Bij verklaring 2*). Ook warmteafgifte aan de omgeving van het glas levert drukvermindering op volgens de algemene gaswet. Dit proces is echter traag, terwijl de vloeistofspiegel waarneembaar snel stijgt.

(*Bij verklaring 1*). Voor ieder zuurstofmolecuul in de lucht ontstaat precies één watermolecuul. Als dat neerslaat kan de ontstane ruimte door vloeistof gevuld worden. Negeren we de vorming van CO₂ dan is dus zelfs verklaring 1 (volgens nogal wat biologieboekjes de 'juiste') een beetje waar.

Belangrijker dan de 'juiste' verklaring is hier dat leerlingen *zelf* bij de verklaringen argumenten bedenken, verdedigen en beoordelen. En dat een behoefte ontstaat aan empirische onderbouwing.

Tips

Illustratie van verklaring 2: plaats een lege ballon over de opening van een fles, en zet die in een bakje heet water (Liem, 1989, p. 36). Ten gevolge van de opwarming van de lucht in de fles blaast de ballon op, een illustratie van de wet van Charles ($V/T = \text{constant}$ als P en N niet veranderen).

Illustratie van verklaring 3: breng wat water in een leeg frisdrankblikje aan de kook, keer het dan snel om in een bak koud water, met de opening onder het wateroppervlak. Het blikje implodeert omdat de waterdamp condenseert. Dit is proef 58 in dit boek.



De ballon op de fles wordt opgeblazen als je de fles in heet water zet.

Verder onderzoek

Met drie kaarsen in plaats van één komt het uiteindelijke water niveau hoger (Liem, 1987, p. 37). Met welke van de verklaringen stemt deze waarneming overeen?

Veiligheid en milieu

Houd het blikje bij de illustratie van verklaring 3 vast met een tang of ovenhandschoen.



04 EIEREN KLEUREN



Ontwikkeling en toetsing van een eenvoudig deeltjesmodel



15+50+25 minuten



Klas 1-3

Begrippen: deeltjesmodel, membranen

Deze demonstratie daagt leerlingen uit om uit te leggen wat ze waarnemen, namelijk dat sommige stoffen wel, en andere niet door het vlies om een rauw ei heen kunnen. Een eenvoudig deeltjesmodel wordt daarbij als mogelijkheid ingebracht. De demonstratie levert een voorbeeld van de wijze waarop modellen in de wetenschap ontstaan, en van hun waarde en status. Het lastige van deeltjesmodellen is: de deeltjes verklaren materie-eigenschappen (zoals temperatuur, vorm, druk, kleur) die de deeltjes zelf niet hebben. Zelf bestaan deeltjes immers bijvoorbeeld uit een punt met massa en snelheid, of uit een set van al dan niet gevulde orbitalen. De demonstratie probeert te laten zien dat de kracht van een model is dat je er (een deel van) de werkelijkheid goed mee kunt beschrijven, verklaren en voorspellen.

Nodig

Minimaal 10 eieren; 10 jampotjes; 2 liter natuurazijn; een kookplaatje; scherp (keuken)mesje; injectiespuit zonder naald. Zout; flesjes voedselkleurstoffen (uit de toko); eigen ‘teststoffen’ zoals thee, oploskoffie, melk, slaolie, cola en sinas.



Een ongekookt ei in azijn.

Voorbereiding

Fotografeer de 10 eieren. Bewaar één ei met schaal, leg de rest drie à vier dagen in natuurazijn, en verwijder zo de schaal. Ververs zo nodig de azijn halverwege. Spoel de laatste restjes er onder de kraan voorzichtig af. Leg ieder ei in zijn eigen potje.

Uitvoering

1. Oriëntatie

Deze eerste sessie duurt ongeveer 15 minuten. Leg het ei met schaal in een glazen potje en doe er azijn bij. Bekijk dat met de leerlingen, laat ze beschrijven wat er gebeurt. Geef daarna eventueel de reactievergelijking. Laat dan de overige 9 eieren zonder schaal zien. Wat opvalt: de eieren zijn hun schaal kwijt, je kunt er bijna doorheen kijken. En een ei zonder schaal is groter dan het ei met schaal. (Laat de foto van de originele 10 eieren zien.) Hoe kan dat? Leerlingen bedenken vaak het volgende.



Ongekookt ei zonder schaal.

Verklaring 1: *De schaal hield het ei bij elkaar, het is 'uitgezakt'.*





Test: kun je dan de inhoud van het ei terug samenpersen? Maak een ei stuk, vul met de inhoud een injectiespuit, sluit die af, en probeer hem samen te drukken. Conclusie?

Verklaring 2: 'Water' is het ei ingegaan.

Test: laat een ei zonder schaal in een pannetje water voorzichtig 15 minuten koken.

Open het en proef de inhoud (alleen bij gebruik van natuurazijn). Ondersteunt deze waarneming de verklaring?

Conclusie: azijn gaat door het vliesje van het ei, maar eiwit niet. Hoe zit dat met andere stoffen?

Onderzoeksraag

Welke stoffen kunnen door het buitenste vries van een ei heen?

Onderzoeksplan

Bedenk samen welke stoffen je wilt testen, waaronder enkele voedselkleurstoffen, en hoe.

Een goede manier is: laat een rauw ei zonder schaal een nacht in (een oplossing van) de te testen stof staan, laat het de volgende dag voorzichtig en lang koken, maak open en onderzoek de inhoud.

2. Waarnemingen verklaren

Deze tweede sessie duurt ongeveer 50 minuten.

Een dag eerder is bij ieder ei een teststof gevoegd. Kook (zoals hierboven aangegeven) dan het ei lang en zachtjes, snij het open. Merk onder andere op door kijken en proeven:

- eiwit en eigeel dringen niet door de hun omringende vriesjes heen;
- zout en azijn dringen door beide vriesjes heen;
- voedselkleurstoffen dringen wel door het buitenste vriesje heen, maar niet door het binnenste.



De kleurstof is wel door het buitenste, niet door het binneste vriesje heen gegaan.

Maak een overzicht van alle conclusies, bijvoorbeeld in een waarnemingstabel zoals die hieronder. De onderzoeksraag is wel aangepast: *Welke stoffen kunnen door het buitenste vries van een ei heen, en welke stoffen gaan ook door het binneste vriesje heen?*

Naam van de stof	Dringt door buitenste vriesje heen (ja/nee)	Dringt door binneste vriesje heen (ja/nee)	Kolom 4
Eiwit	Nee	Nee	
Eigeel	?	Nee	
Zout	Ja	Ja	
Azijn	Ja	Ja	
Groene kleurstof	Ja	Nee	
Rode kleurstof	Ja	Nee	



3. Interpretatie en conclusies, onderzoeksvragen beantwoorden

Deze derde sessie duurt ongeveer 25 minuten. Het gaat nu om het verklaren van de waarnemingen.

Waardoor kunnen sommige stoffen door beide vliesjes heendringen, andere door alleen het buitenste, en weer andere door geen enkel vliesje? Daag de leerlingen uit, waardeer alle bedachte ideeën, maar ga samen wel kritisch na of die inderdaad al de waarnemingen verklaren.

Breng dan in: stel je voor dat een bepaalde stof bestaat uit piepkleine deeltjes, *die allemaal precies even groot zijn*. De deeltjes van verschillende stoffen kunnen verschillen; sommige stoffen hebben grotere deeltjes, andere kleinere. Stel verder dat de vliesjes niet helemaal dicht zijn maar gaatjes bevatten, ongeveer net zoals de poriën van je huid. Stel nog: in vloeistoffen zoals eigeel bewegen de deeltjes voortdurend door elkaar: denk aan de ballen in een ballenbak, en stel je voor dat ze allemaal door elkaar krioelen. In vaste stoffen blijven de deeltjes op hun plaats, ongeveer zoals de zaadjes in een mueslireep, alleen trillen ze ook nog heen en weer. Van dat krioelen en trillen zie je niets, daar zijn de deeltjes veel te klein voor.

1. Discussievragen

Beantwoord je dan de volgende vragen met gebruik van de ideeën hierboven.

- Welk vliesje heeft dan grotere gaten, het buitenste of het binnenste?
- Kun je dan in kolom 4 van je waarnemingentabel aangeven welke stoffen grote deeltjes hebben, welke kleine, en welke een maat tussenin?
- Kun je met deze ideeën de waarnemingen verklaren?

2. Modellen in de wetenschap

Door de antwoorden van leerlingen op de vragen in het kader te bespreken kan de docent verhelderen bijvoorbeeld wat modellen zijn, waarvoor ze bruikbaar zijn, en dat er altijd grenzen zijn aan hun geldigheid.

We hebben een soort onderzoek uitgevoerd naar de eigenschappen van stoffen en eieren.

- Wat hebben wij gedaan dat een wetenschapper zeker ook zou doen?
 - Wat deden wij maar zou een wetenschappers nooit doen?
 - Wat deden we niet en zou een wetenschapper juist wel doen?
 - Is wat we gedaan hebben nu een wetenschappelijk onderzoek?
-
- Weten we nu zeker of stoffen uit deeltjes bestaan, en dat vliesjes in eieren gaatjes hebben?
Kun je ook een andere verklaring bedenken voor de waarnemingen?
 - Heb je de deeltjes of gaten in de vriesjes gezien? Kun je dan zeker weten dat ze bestaan?
 - Denk je dat wetenschappers de deeltjes kunnen zien? Kunnen wetenschappers er zeker van zijn dat ze echt bestaan?

Om de waarnemingen te verklaren hebben we een *model* gebruikt. Het model bestaat uit ideeën over de samenstelling van stoffen en materialen. Of het model helemaal klopt weten we niet, maar het helpt ons wel om te snappen wat er gebeurt.





Mensen gebruiken heel vaak een *model* om het gemakkelijker te maken om iets te doen of te snappen. Voorbeelden: Google Maps, temperatuurgrafiek van het weerbericht, plattegrond van de school, röntgenfoto bij de tandarts, enzovoorts.

Natuurkundige achtergrond

De schaal van een ei verwijder je door het enkele dagen in azijn te leggen. Er ontstaan meteen belletjes (koolzuurgas) en water, terwijl calciumionen in oplossing gaan, doordat het calciumcarbonaat van de schaal onder invloed van het zuur langzaam uiteen valt. Het ideaalbeeld van Ernst Mach (1838-1916) was om alle wetenschappelijke theorie te baseren op concrete waarnemingen, en in de theorie alleen begrippen toe te laten die daarop terug te voeren zijn. Hij verwierp daarom bijvoorbeeld zowel het begrip kracht (want massa en versnelling volstaan) als deeltjestheorieën (de deeltjes zijn immers niet direct waarneembaar). Hij werd daarmee een van de grondleggers van de filosofie die het 'logisch positivisme' wordt genoemd. Albert Einstein (1879-1955) had grote waardering voor Mach, en beschouwde sommige van zijn ideeën als uitgangspunten voor Einstein's algemene relativiteitstheorie. Maar toen de jonge Einstein liet zien hoe je op basis van onwaarneembare, willekeurig bewegende deeltjes de Brownse beweging precies kon verklaren was dat een stevige aanval op Mach's benadering. Mach verwierp Einstein's theorieën dan ook, maar Mach's aanpak heeft het niet gered. De beroemde docent en Nobelprijswinnaar Richard Feynman (1918-1988) beschouwde het idee dat materie uit deeltjes bestaat als misschien wel het belangrijkste idee dat wetenschappers ooit hebben bedacht (Feynman et al., 1963, p. 1-2).

Veiligheid en milieu

Werk met veilige, onschadelijke stoffen. Benut voor het koken van de eieren zonder schaal eventueel de zuurkast.

De bereiding van 'the naked egg' met daarna een animatie van de osmose is te zien op:
www.youtube.com/watch?v=SrON0nEEWmo

Een aardige variant met markerkleurstof in de azijn staat op:
www.youtube.com/watch?v=rFls3g8v6fo



05 MYSTERIEUS FONTEINTJE



10-15 minuten



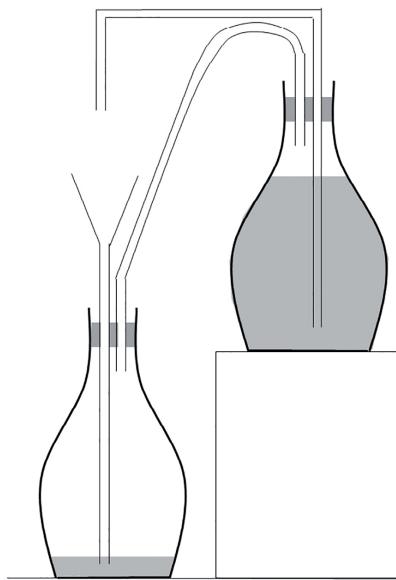
Vanaf klas 1

Begrippen: hevel, zwaarte-energie, energiebehoud

In deze ‘black box’ demonstratie blijft het ‘kraantje’ lopen als je wat vloeistof in de trechter giet, en blijft dan heel lang doorlopen. De uitdaging is om samen te bedenken wat er in de flessen zit. Leerlingen oefenen met het bedenken, vergelijken en toetsen van verklaringen voor verschijnselen, en reflecteren op de rol van creativiteit en persoonlijke inbreng in wetenschappelijk onderzoek.



Figuur 1. Het mysterieuze fonteintje.



Figuur 2. Schets van de opstelling.

Nodig

Twee flessen of erlenmeyers; twee goed sluitende rubber stoppen, ieder met twee gaten waar de glasbuisjes precies in passen; twee grote enveloppen, waar de flessen helemaal in passen; een trechters; glaspipjes of rubberslang.

De kwetsbare buis die het ‘kraantje’ is mag ook van rubber zijn. Gebruik als verbinding tussen de twee flessen een doorzichtige slang.

Gebruik bij voorkeur water met verschillende kleuren om bij te dragen aan het mysterie. Ook nodig: een bekertje met wat extra vloeistof.

Voorbereiding

Bouw de opstelling volgens de schets. Zet de flessen in de grote enveloppen, die de flessen tot de stoppen afdekken, zodat de inhoud van de flessen onzichtbaar blijft.





Uitvoering

Giet de vloeistof uit het bekertje in de trechter. In het kraantjesbuisje rechts komt dan vloeistof omhoog: zodra die 'om het hoekje' gaat begint de kraan te lopen en blijft lopen (als de vloeistof tenminste de trechter in stroomt). Toch komt er 'niets' (zichtbaars) door de verbinding tussen de flessen.

Het gesprek bij de proef is interessanter dan de uitvoering en de gebeurtenissen. Voor de hand liggende vragen en opdrachten (zie voor een mogelijk 'scenario' het werkblad op www.nvon.nl/showdefysica):

- Hoe denk je dat het werkt? (Maak er een tekening bij en leg uit, vergelijk met je buur.)
- Blijft de kraan voor altijd lopen? Waarom/waarom niet?
- Er gaat 'niets' door de verbindingbuis. Werkt het nog als we die verwijderen?
- Wat denk je dat er gaat gebeuren als... (zie de website voor mogelijkheden.)

Met kleurstoffen wordt de proef beter zichtbaar én interessanter. Immers, zou de verklaring iets met chemische processen te maken kunnen hebben?

Natuurkundige achtergrond

Uitleg voor de onderbouw (gebruik figuur 2). Als je een beetje water in de trechter gooit, gaat het niveau in de linkerfles omhoog. Er wordt lucht door de slang naar de rechterfles geduwd. Het water wordt daar naar beneden geduwd, en komt daardoor in het buisje rechts omhoog. Het buisje van het 'kraantje' is maar smal, al gauw gaat het water de bocht om en valt in de trechter. Daarna blijft het water dat uit het kraantje komt ervoor zorgen dat het proces doorgaat. Het water stopt met lopen als het niveauverschil in de flessen even hoog is, of als de rechterfles leeg is.

Preciezer: als de vloeistofkolom onder de trechter eenmaal is opgebouwd, en de stroming stabiel, is de gasdruk boven de vloeistoffen binnen in beide flessen even groot. De gasdruk boven de vloeistof in het trechtertje is ook altijd even groot als de atmosferische druk die aan het uiteinde van het kraantje heerst. Het water blijft dus uit het kraantje stromen zolang de vloeistofkolom links hoger is dan die rechts. Met Bernouilli wordt de potentiële energie van het wateroverschot in de linkerkolom dan omgezet in kinetische energie van het water dat uit het kraantje stroomt. Er is sprake van een hevel: het water blijft stromen tot er geen overschot aan potentiële energie meer voor beschikbaar is, dus als de rechterfles leeg is of de vloeistofkolommen even hoog.

Verder onderzoek

Lederman (1998) beschrijft met deze proef hoe diverse kenmerken van wetenschappelijk onderzoek aan leerlingen duidelijk kunnen worden op basis van hun eigen ervaringen. Zie het scenario op de site voor toelichting.

Tips

Controleer, als het niet 'werkt', of de stoppen goed vastzitten en de lange buisjes tot het vloeistofniveau reiken in beide flessen. Na afloop kun je de stoppen uit de flessen trekken, omwisselen, en opnieuw beginnen. Er is wat vloeistof bij gekomen, pas op voor overstroming.



06

LEREN MODELLEREN EN ONDERZOEKEN MET VALLENDE BAKJES



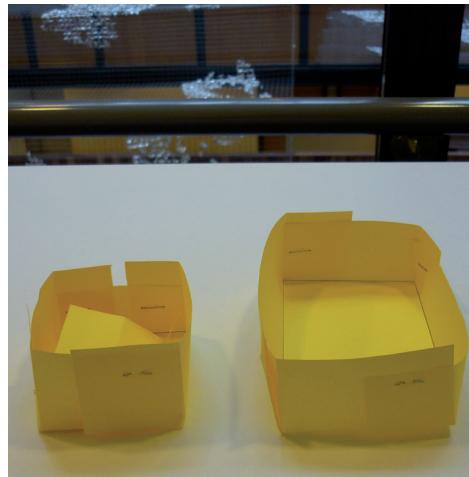
Een hele les



Vanaf klas 3

Begrippen: massa, wrijving, modelleren, variabelen

Demonstraties kunnen ook gebruikt worden als collectieve ervaring in het onderzoeken. In deze proef zijn we op zoek naar een 'model' om de valtijd van papieren bakjes te voorspellen. Het experiment wordt uitgevoerd als mix van demonstratie en practicum waarbij de practicumcomponent meer of minder kan zijn.



Figuur 1. Bakjes gevouwen van een half vel dik A4-papier met A en 2A als oppervlak. Bij het bakje met A wordt het afgeknipst stuk papier in het bakje gelegd opdat de massa's van beide bakjes gelijk is.



Figuur 2. Het bakje met oppervlak 2A valt van hoogte h , dat met oppervlak A valt van hoogte $2h$.

Nodig

Rolmaat (2 m), vellen A4 iets dikker dan printpapier; schaar; nietapparaat.

Voorbereiding

Enkele bakjes al van te voren gemaakt.

Uitvoering

1. Docent laat blad papier vallen. Het dwarrelt alle kanten op. Daar valt weinig aan te voorspellen.
2. Docent laat papieren bakje vallen. Dat lijkt heel regelmatig naar de grond toe te bewegen. Waar zou de valtijd t mee te maken hebben? Welke eigenschappen van het bakje zouden die valtijd beïnvloeden?
3. Leerlingen: hoogte (h), massa (m), oppervlakte van bakje (A), luchtdruk, temperatuur, en andere wilde variabelen.





4. Docent: zouden we een formule kunnen bedenken voor de valtijd? Bijvoorbeeld $t = \dots / \dots$, wat komt er boven de streep, wat komt er onder de streep? Wat weten we eigenlijk al?
5. Leerlingen: als de massa groter wordt, wordt de valtijd kleiner, of als de hoogte groter wordt, wordt de valtijd groter.
6. Hoe zetten we deze kennis om in een simpele formule?
7. $t = Ahc / m$ waarin c een constante is. We kunnen natuurlijk exponenten toevoegen, zou A misschien A^2 moeten zijn, of A^3 ? Of m juist m^2 of $m^{1/2}$, of $\log m$? Met veel natuurkundekennis zou je de meest waarschijnlijke vorm kunnen afleiden, maar wij hebben die kennis nog niet en doen het even zonder.
8. Volgens bovenstaande formule, als we de hoogte 2x zo groot maken, wat gebeurt er dan met de valtijd?
9. Hoe zou ik dat met twee bakjes en zonder stopwatch kunnen testen?
10. Proef met gelijke bakjes, één op h en één op $2h$. Komen ze gelijk aan?
11. Hoe kunnen we de invloed van A en m toetsen? Nu groepjes leerlingen laten bedenken.
12. Oplossing voor A als variabele: twee bakjes met gelijke massa maar één met A en één met $2A$ oppervlak. Die met A van $2h$ laten vallen en die van $2A$ van h . Moeten gelijk aankomen.
13. Oplossing voor m als variabele: Als bakje met A als oppervlak een half vel A4 is, dan nog een bakje met A nemen en daarin een half vel A4 leggen. Dan het zwaardere bakje van $2h$ laten vallen. De relatie blijkt niet te kloppen, de bakjes komen niet gelijk aan. Dan nog maar iets anders proberen. Moet dat dan m^2 zijn of juist $m^{1/2}$? Waarom (uitgaande van het geobserveerde resultaat)? Uiteindelijk blijkt $m^{1/2}$ een aardig resultaat te geven.
14. Dit was een voorbeeld van empirisch en iteratief modelleren.

Natuurkundige achtergrond

Een half blad A4 dwarrelt, maar gevouwen als bakje valt het redelijk recht naar beneden want er wordt vrijwel onmiddellijk een evenwicht bereikt tussen luchtwrijving en zwaartekracht, vandaar de constante snelheid. Dit stelt ons in staat om empirisch de invloed van valafstand, oppervlak, en massa op de valtijd te onderzoeken. Zie voor een meer complete beschrijving van de theorie Mooldijk et al (2003).

Tips

In plaats van geïmproviseerde bakjes kun je ook koffiefilters met diverse doorsneden vergelijken.

Van www.nvon.nl/showdefysica kun je een afdrukbaar blad halen waarmee handig bakjes kunnen worden gevouwen met massa m , $1/2 m$, $1/3 m$ en oppervlak A , $1/2 A$, en $1/3 A$. Wel randen op gelijke hoogte afknippen en restjes in het bakje leggen.

Jarenlang functioneerde deze activiteit bij de VU als de eerste practicumactiviteit natuurkunde. Hij is getest (als practicum) met topleerlingen van klas 4 vwo op oriëntatie bij het Utrechtse Junior College. Ze bleken zeer geïnteresseerd te zijn en waren onder de indruk van deze manier van natuurkunde bedrijven.

Een vergelijkbaar onderzoek met kegelvormige bakjes is beschreven in Mooldijk et al. (2003); zie www.fisme.science.uu.nl/bps/artikelen/fallingcone.pdf.



07 ROLLENDE VOORWERPEN



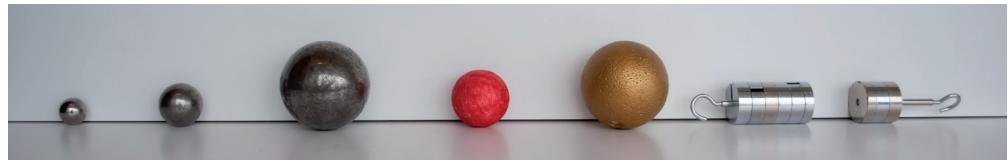
30-50 minuten



Vanaf klas 4

Begrippen: potentiële en kinetische energie, traagheidsmoment, translatie-energie

Laat je een stel ronde voorwerpen van een helling rollen, dan doen de massa en de maat er niets toe, maar dat de vorm wel. Dit is lastig te begrijpen of uit de waarnemingen af te leiden, wat leerlingen stimuleert om systematisch onderzoek voor te stellen om ordening aan te brengen. In de demonstratie kan de docent de planning, uitvoering en interpretatie in goede banen leiden. De proef is geïnspireerd door een oude wetenschapsquiz-vraag: rollen een gekookt en een rauw ei even snel?



Welk rollend voorwerp is het eerst beneden?

Nodig

Van alles wat rollen kan. Lange brede plank (zo mogelijk met randjes); statieven. Blok en kussen met dezelfde breedte als de plank. Weegschaal; stopwatch; meetlat. Idealiter: massieve en holle cilinders en bollen van gelijke grootte maar verschillende massa, en van hetzelfde materiaal maar verschillende grootte (bijvoorbeeld te vinden in practicumsets voor dichtheidsmetingen).

Voorbereiding

Maak van de plank en statieven een goed waarneembare helling, leg het blok bovenaan en het kussen onderaan. Leg ronde voorwerpen van uiteenlopende massa, grootte en vorm bovenaan de helling, tegen het blok, naast elkaar.

Oefen het wegtrekken van het blok zo, dat alle voorwerpen tegelijkertijd beginnen te rollen.

Uitvoering

(Predict.) De klas weet vast al, dat alle voorwerpen even snel vallen. Maar geldt dat ook voor *rollende* voorwerpen? Leg uit dat je straks het blok zult wegtrekken, zodat alle voorwerpen naar beneden komen. Zullen ze allemaal naast elkaar blijven? Waarom wel, of waarom niet?

(Observe.) Trek vervolgens het blok weg. Idealiter rolt alles door elkaar: er is duidelijk verschil, maar welk voorwerp eerder is zie je niet. Enige systematiek is duidelijk nodig, een heldere aanpak ook. De leerlingen kunnen die vast grotendeels bedenken, en meehelpen met de uitvoering.





Enkele suggesties:

- Onderzoek (eerst) eenvoudige vormen: holle en volle bollen en cilinders zijn het eenvoudigst.
- Isoleer relevante factoren: leerlingen kunnen massa en straal bedenken, voeg er desnoods zelf 'vorm' aan toe, en 'hol of vol'.
- De meeste leerlingen begrijpen wel dat je mogelijke factoren één voor één moet variëren, wil je eerlijk meten: laat ze zelf bedenken hoe, en dat verantwoorden, maar help met concretiseren. Een verzameling cilinders en bollen bekijken kan al helpen.
- Leg twee voorwerpen bovenaan tegen elkaar en laat los. Eerst de een voorop, dan de ander. Is er een sneller, dan loopt die uit (dit is soms efficiënter dan een stopwatch).
- Verdeel de taken: een plan maken dat met alle factoren rekening houdt is te lastig voor de meeste leerlingen, maar planning van onderzoek of de massa bij cilinders iets uitmaakt lukt vaak wel.

(Explain.) Bespreek welke van de voorspellingen is of zijn uitgekomen. Evalueer de gegeven verklaringen. Leg zo nodig uit wat natuurkundigen er van denken.

Natuurkundige achtergrond

Bij het rollen wordt potentiële energie omgezet in deels translatie- deels rotatie-energie, volgens:

$$E_p = E_{k,r} + E_{k,t} \Leftrightarrow m.g.h = \frac{1}{2} I.\omega^2 + \frac{1}{2} m.v^2.$$

Traagheidsmoment I is voor eenvoudige vormen evenredig met massa m en straal R in het kwadraat (zie de tabel):

$$I = C.m.R^2, \text{ waarbij } C \text{ door de vorm wordt bepaald.}$$

$$\text{Dus (met } v = \omega.R\text{): } v(h) = \sqrt{2gh/(1+C)}$$

Kortom: de snelheid bij gegeven hoogte, dus ook de gemiddelde snelheid na daling over die hoogte, *hangt niet af van massa of straal, alleen van de 'vorm'*. Het voorwerp waarvan de massa het dichtst bij de rotatie-as zit ontvangt relatief de meeste translatie-energie en 'wint'. Alle bollen rollen even snel, alle buizen, alle schijven en alle ballen ook. Maar bollen rollen sneller dan schijven, schijven sneller dan ballen, en buizen zijn het laatst beneden.

Traagheidsmoment I van enkele eenvoudige vormen (met massa m , straal R): $I = \frac{1}{2} C.m.R^2$.

Vorm	C
Massieve bol	$\frac{2}{5}$
Massieve cilinder	$\frac{1}{2}$
Holle bol	$\frac{2}{3}$
Holle cilinder	1

Verder onderzoek

Er bestaan practicumsets die bijvoorbeeld een holle en volle cilinder bevatten van gelijke massa en straal. Sommige waarden in de tabel zou je daarmee kunnen verifiëren. Maar hier is de theorie minder belangrijk dan het systematisch meten, en daar een aanpak voor bedenken.

Tips

Met materiaal uit een dichtheidspracticumset is aannemelijk te maken dat, achtereenvolgens, massa, materiaal en straal geen invloed hebben op de roltijd in het geval van massieve cilinders. Een bezoek aan een lokale bouwmarkt kan additioneel bruikbaar materiaal opleveren.

Deze proef is eerder gepubliceerd in NVOX (Dekkers en Van Rens, 1999).



08 DNA EN PENNENVEERTJE



Interferentie van pennenvuur



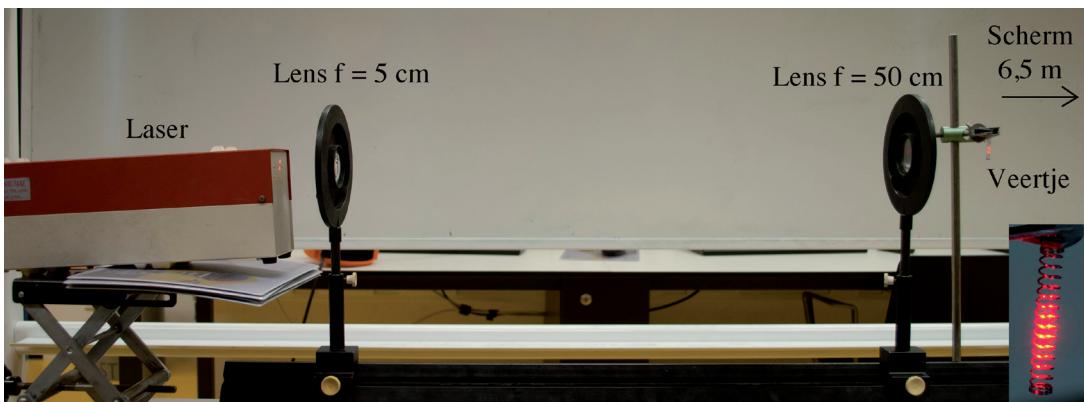
10 minuten of meer



5-6 vwo

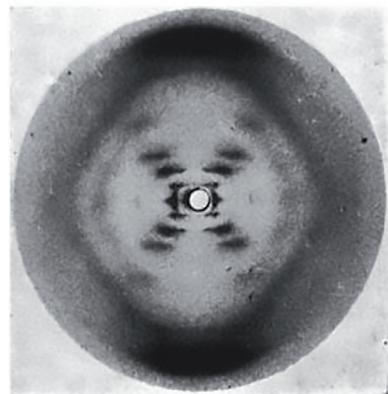
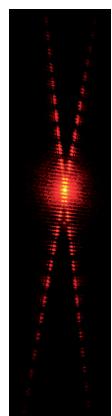
Begrippen: diffractie, interferentie, buiging, DNA-structuur

Met deze demonstratie kun je een brug slaan tussen biologie en natuurkunde, doordat je een foto van het röntgendiffractiepatroon van DNA die is gebruikt bij het ontrafelen van de DNA-structuur, optisch dupliceert met behulp van een laser en een pennenvoertje. Als pure natuurkundedemonstratie is het waardevol om het gebruik van diffractie te laten zien voor het ontrafelen van patronen. Daarnaast is dit diffractiepatroon complexer dan dat van een tralie, maar nog steeds eenvoudig genoeg om aan te rekenen.



► De opstelling bestaat uit een laser, een bundelverbreden van twee positieve lenzen en een veertje. De inzet rechtsonder toont het belichte veertje in meer detail. Het scherm staat ongeveer 6,5 meter rechts van het veertje.

► Links het interferentiepatroon van een pennenvoertje in licht. Het patroon is een combinatie van een traliepatroon met een patroon van buiging rond een enkele dunne draad. Deze afbeelding was in werkelijkheid ongeveer 22 cm hoog. Rechts: foto van het röntgendiffractiepatroon van DNA. Deze foto, gemaakt door Wilkins en Franklin, is door Watson en Crick gebruikt om de dubbele-helix-structuur van het DNA te bevestigen. Zoek de overeenkomsten!



Nodig

Laser (een laserpointer in een statief kan, maar werkt minder goed); bundelverbreden van minimaal twee lenzen; pennenvoertje met vrij kleine spoed; statiefmateriaal; minimaal 5 meter ruimte tot het scherm en verduisterbaar lokaal.





Voorbereiding

Ga op zoek naar een pennenviertje met een vrij kleine spoed. Het veertje in dit voorbeeld heeft een spoed van ongeveer 3 mm. Het verdient aanbeveling de hele opstelling van tevoren klaar te zetten en niet tijdens de les op te bouwen. De hier gebruikte bundelverbreder bestaat uit twee positieve lenzen, die iets verder uit elkaar staan dan de som van hun brandpunten. De opbouw gaat het eenvoudigst zonder veertje. Je zorgt dan voor een scherpe afbeelding van de laser op het scherm door de afstand tussen de twee lenzen aan te passen. Daarna schuif je het veertje in de bundel en kun je nog proberen de afbeelding iets scherper te krijgen. De bundel moet dusdanig zijn verbreed dat er minimaal vijf windingen van het veertje belicht worden.

Uitvoering

Het is mogelijk om vrij veel fysische concepten te demonstreren en te bevragen bij de leerlingen. In ieder geval kun je de koppeling met het ontrafelen van de structuur van DNA maken. Dat toont meteen een bredere en interessante(re) toepassing van diffractie dan het nauwkeurig bepalen van golflengtes.

Andere concepten die aan bod kunnen komen zijn:

- *De werking van de bundelverbreder.* Geef bijvoorbeeld aan dat het twee positieve lenzen zijn en dat de bundel x keer is verbreed en vraag de leerlingen om een constructietekening te maken;
- *Het ontstaan van twee gekruiste patronen.* Je kunt via de hoek tussen de patronen de hoek tussen de veerwindingen bepalen en die vervolgens controleren (leg bijvoorbeeld de veer op de overheadprojector).
- *De superpositie van twee diffractiepatronen:* het traliepatroon (het 'kleine' patroon) en het buigingspatroon rond een draad (het 'grote' patroon). Aan beide patronen kun je rekenen (zie Braun e.a. (2011)).
- *De verhoudingen tussen orde van grootte* van de pennenvuur versus het DNA en de golflengte van zichtbaar licht versus röntgenstraling.
- *De creatie van natuurwetenschappelijke kennis.* Het gebruik van de foto van Wilkins en Franklin door Watson en Crick is omstreden.

Natuurkundige achtergrond

Wanneer straling door een opening valt, dan zal een diffractiepatroon ontstaan. Zie verder Braun e.a. (2011).

Tips

Bereid deze demonstratie goed voor, ook wat betreft didactiek en reikwijdte. Het kost wat moeite, maar dat is het meer dan waard.

Veiligheid en milieu

Pas de veiligheidsmaatregelen toe die nodig zijn bij het gebruik van een laser.

Het eindexamen VWO 2013 tijdvak 2, opgave 2 bespreekt deze opstelling. Men gebruikt een iets andere bundelverbreder.





B

Begripsontwikkeling





09 EXPANDERENDE LUCHT KOELT AF



3 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: warmte, afkoelen, uitzetten, expanderen

Deze demonstratie laat in drie minuten voelen dat lucht afkoelt als hij uitzet. Aan de vervolgdemostratie is enig risico verbonden. De demonstratie is zelfs geschikt voor de basisschool als alleen het verschijnsel getoond wordt. Maar hij is ook geschikt voor de bovenbouw v.o. als de modelmatige verklaring wordt gegeven. Leuk voor een open dag, want je kunt de hele zaal mee laten doen en denken.



Figuur 1. Uitademen door een wijd open mond. Lucht is warm.



Figuur 2. Uitademen door klein gaatje in de lippen. Lucht blijft koud te zijn.



Figuur 3: Stoom ontsnapt uit de snelkookpan. Het is mogelijk je hand op enige afstand in de stoom te houden. Let ook op de vorming van een 'wolk' boven de pan: condensatie, dus afkoeling.

Nodig

Je mond en de monden van leerlingen of hun ouders; snelkookpan op kookplaatje; eventueel: fietspompje, ballon, tennisracket en bal.

Voorbereiding

Geen.

Uitvoering

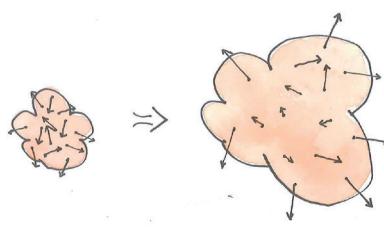
1. Je staat met je zijkant naar de leerlingen toe en ademt uit een wijd open mond op je hand (figuur 1). Leerlingen doen dit na.
2. Vervolgens uitademen door een kleine opening (figuur 2). Leerlingen doen het na.
3. Vraag aan leerlingen: *Wat voel je?* (eerst warm, toen koud).
4. *Waarom was het eerst warm? Hoe warm?* (Lucht komt regelrecht uit de longen dus ongeveer 37 graden).



5. *Zijn er andere verschijnselen waar je hetzelfde voelt? (Leeglopende ballon, lucht die uit fietspomp komt).*
6. *Wat is er bij al deze verschijnselen aan de hand? Luchtexpansie.*
7. Je houdt nu je hand op enige afstand in de stoom die uit de snelkookpan ontsnapt (figuur 3). Je ziet ook de vorming van een 'wolk' boven de pan: condensatie, dus afkoeling!
8. (In bovenbouw, uitleg). Moleculen in expanderende lucht botsen vooral met moleculen die van ze af bewegen; door zo'n botsing verliest het molecuul snelheid. De snelheden van de moleculen nemen dus af bij expansie; dat voelen we macroscopisch als een temperatuurdaling. Bedenk dat de gemiddelde kinetische energie per molecuul in de orde van kT is. Afname van kinetische energie correspondeert dus met temperatuurdaling. Je kunt dit microscopisch effect goed illustreren met een tennisracket en een bal. Afremmen van de bal doe je door met de racket achteruit te bewegen als de bal eraan komt. Versnellen doe je door te slaan, dus racket naar de bal toe bewegen.
9. *Kennen we ook het tegenovergestelde, je doet iets met lucht en het wordt warm?* Een goed voorbeeld is het onderstuk van fietspomp. Daar is compressie: nu botsen moleculen voornamelijk met moleculen die naderen. Dit resulteert in hogere snelheden, dus een hogere temperatuur.

Natuurkundige achtergrond

Zie de uitleg bij punt 8 hierboven.



Figuur 4. Moleculen in het gebiedje met uitzettende lucht botsen vaker met moleculen die van ze af bewegen dan moleculen die naderen. Daardoor neemt de snelheid van deze moleculen af, resulterend in een lagere temperatuur.



Figuur 5. Racket meebewegen met bal om af te remmen. Foto: Shutterstock.

Veiligheid en milieu

Als je de demonstratie doet met expanderende stoom (figuur 3): voorzichtig. Houd je hand eerst ver van de snelkookpan en dan langzaam iets dichterbij.

Deze proefbeschrijving is geïnspireerd door Hewitt (2010).



10

WARM & KOUD, ZOUT & ZOET, EN OCEAANSTROMINGEN



15 minuten



Klas 2 – 6

Begrippen: temperatuur, dichtheid, convectie, zoutconcentratie

De Warme Golfstroom stroomt als een 100 – 200 km wijde rivier over de Atlantische Oceaan van het Caribisch gebied naar Europa. In het verre noorden van de Atlantische Oceaan wordt het water zo koud aan het oppervlak dat het een grotere dichtheid heeft dan onderliggend iets warmer water, het zinkt en wordt op enkele kilometers diepte teruggevoerd naar de tropen. Deze Atlantische transportband wordt in stand gehouden door verschillen in temperatuur en zoutgehalte, wind, en de rotatie van de aarde (corioliskracht). Een serie van demonstraties laat achtereenvolgens zien dat warm water 'drijft' op koud water, zoet water op zout water, en dat verschillen in temperatuur en zoutconcentratie stroming kunnen veroorzaken. In het aquarium zien we de start van zo'n transportbandsysteem dat veel energie kan transportereren vanwege de grote soortelijke warmte van water.



Figuur 1. Rood gekleurd warm water en blauw koud water.



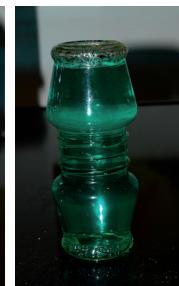
Figuur 2. Warm boven en koud onder mengen niet.



Figuur 3. Koud boven en warm onder mengen wel.



Figuur 4. Zout water boven en kraanwater onder.



Figuur 5. Kraanwater onder en zout water boven mengen.

Nodig

8 glazen of jampotten; plastic kaart; aquarium of terrarium met kraanwater; rode en blauwe kleurstof (vloeibare voedselkleurstof); warm (rood) en koud water (blauw), elk 2 glazen; ijsblokjes blauw gekleurd, zout water en kraanwater beide met een kleurtje (elk 2 glazen).

Voorbereiding

Bekijk video's op de bij de noten 1 en 2 genoemde sites en oefen een keer.



Uitvoering

1. Docent: *In de oceanen zijn koude en warme zeestromen. De Warme Golfstroom vanuit het Caribisch gebied brengt zoveel warmte naar Europa dat Noord-Europa bewoonbaar is terwijl overeenkomstige delen van Oost-Canada nauwelijks worden bewoond. Vandaag bestuderen we hoe een dergelijke stroming ontstaat.*
2. Neem het glas warm water, dek het af met de plastic kaart, keer het om en zet het voorzichtig op het glas met koud water (zie de figuren 1 & 2 en de bij noot 1 genoemde site).
3. Teken de situatie op bord en vraagt een voorspelling: *Als ik de kaart wegtrek, wat zal er met het water gebeuren en waarom?*
4. Docent trekt plastic kaart weg. Het water mengt niet (figuur 2).
5. Herhaal met koud water boven en warm water onder. *Wat zal er gebeuren, waarom?*
6. Docent trekt plastic kaart weg. Het water verkleurt (figuur 3).
7. Discussie over verklaring.
8. Eventueel precies gelijke volumes van warm en koud water in maatcilinders doen en wegen op een digitale weegschaal met 0,1 g nauwkeurigheid. Is er verschil?
9. Conclusie: *temperatuurverschillen kunnen stroming veroorzaken.*
10. Doe hetzelfde met zout en zoet water (figuren 4 en 5).
11. Aquarium introduceren. *Wat zal er gaan gebeuren als ik gekleurde ijsblokjes aan één kant in het water leg? Teken de stroming die in het water zou kunnen ontstaan.*
12. *Wat als ik aan de andere kant een beetje warm (rood) water toevoeg? Teken de stroming.*
13. Nu uitvoeren, zorg voor een duidelijke achtergrond. We zien een convectiecel (site 2).

Natuurkundige achtergrond

Water zet uit wanneer je het verwarmt, behalve tussen 0 en 4 graden (anomalie van water). Koud water heeft dus een grotere dichtheid dan warm water en zal naar beneden zakken terwijl warm water juist stijgt. Hetzelfde geldt voor zout versus zoet water. Deze mechanismen spelen een rol in de oceaanstromingen, naast de invloed van wind en de rotatie van de aarde. Ponce de Leon, een opvolger van Columbus, had de Warme Golfstroom al in de gaten. Als hoofd van de Amerikaanse post raakte Benjamin Franklin geïnteresseerd in de tijdsverschillen tussen postschepen die verschillende routes volgden (Winchester, 2010) en via interviews met kapiteins bracht hij de Golfstroom in kaart. Vanwege de grote soortelijke warmte van water en de enorme hoeveelheid, is het effect van de Warme Golfstroom op het klimaat in West-Europa groot.

Noten

1. Instructies mengen warm/koud water:
<https://www.youtube.com/watch?v=86ChgK38EIA>
2. Instructies convectie in aquarium:
<https://www.youtube.com/watch?v=bN7E6FCuMbY>



11

CAPPUCCINO EN DE CONDENSATIEWARMTE VAN WATER



20 minuten



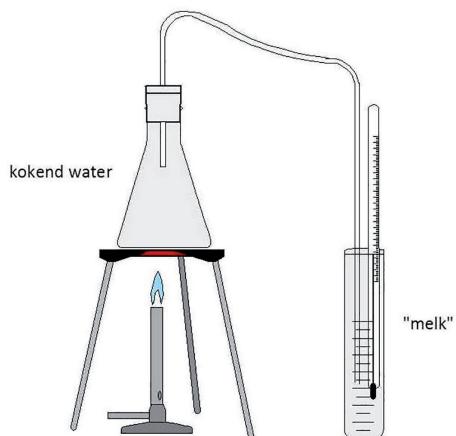
Vanaf klas 3

Begrippen: condensatiewarmte, rekenen met $Q = c.m.\Delta T$ en $Q = m.L$

Deze demonstratie laat aan de hand van de context van een cappuccinoapparaat de grootte van de condensatiewarmte van water zien. Deze condensatiewarmte levert de grootste bijdrage voor de opwarming van de melk. De demonstratie bestaat uit twee delen. Eerst rekenen de leerlingen uit wat er gebeurt als je heet en koud water met elkaar mengt. Daarna wordt met behulp van de demonstratie gekeken wat er gebeurt als je stoom gebruikt. Een werkblad dient om de leerlingen actief bij de proef te betrekken en ook om hen te helpen bij de berekeningen.



Cappuccino.



Opstelling.

Nodig

Een grote erlenmeyer; maatcilinder van 100 mL; thermometer; kurk voor erlenmeyer met gat; rubberslangetje; water; brander; isolerende handschoenen.

Voorbereiding

Erlenmeyer vullen met water, het liefst kokend heet water om later 'dode' tijd te voorkomen. Rubberslangetje door kurk steken en op de erlenmeyer stoppen. Maatcilinder vullen met ongeveer 50 mL water van 5 °C. Deze 50 mL fungereert als de melk.

Uitvoering

De uitvoering begint na de introductie van het probleem (zie kader) met het eerste gedeelte dat alleen uit rekenen bestaat.





Een cappuccino maak je door melk (halfvol of vol voor schuimvorming) al roerend langzaam te verwarmen tot 65 °C en vervolgens te kloppen. Bij een hogere melktemperatuur of te snel verwarmen is er risico van een aanbrandsmaak en schuimt het minder mooi; bij lagere temperatuur is de melksmaak iets minder zoet. De espresso zelf mag warmer zijn. In een café is er geen tijd voor langzaam verwarmen. Wat doe je dan? Een cappuccinoapparaat in een café voegt 'heel heet' water toe om de melk op te warmen. De maximale verdunning van melk met water die we acceptabel vinden is 10%. Een beetje verdunning is niet erg, aangezien espresso sterke koffie is met relatief weinig water.

Reken op je werkblad uit hoeveel gram water van 90 °C je bij 50 mL melk van 5 °C moet doen om de melk naar 65 °C te brengen. Ga er van uit dat de soortelijke warmte van melk gelijk is aan die van water. De formules staan op het werkblad. Over drie minuten gaan we verder.

[Antwoord: 120 g]

Dit is ruim 2x zoveel als de melk. Veel te veel. Laten we nu uitrekenen hoeveel gram water van 100 °C we nodig hebben. Jullie hebben weer drie minuten.

[Antwoord: 86 g]

Dit is nog steeds meer dan anderhalf keer zoveel water als melk!

Stel dat het water niet zou verdampen bij 100 °C en ik zou het gewoon warmer kunnen maken. Hoe hoog zou dan de temperatuur moeten zijn van 5 g water als ik die bij de 50 g melk van 5° C doe opdat die 65 °C wordt? Je kunt hiervoor dezelfde formules gebruiken.

[Antwoord: 665 °C]

Dat is nogal wat, 665 °C. Dat gaat niet werken. We gaan nu kijken wat er gebeurt als we stoom gebruiken, wat in werkelijkheid natuurlijk ook gebeurt als we water boven de 100 °C verwarmen.

De docent legt nu de opstelling uit en vraagt een leerling naar voren om de beginhoeveelheid 'melk' te bepalen (zal ongeveer 50 g zijn) en de temperatuur af te lezen (zal ongeveer 5 °C zijn).

Proef starten. Brander aansteken. Eerst het reeds voorverhitte water in de erlenmeyer aan de kook brengen. Wacht tot er stoom uit het rubberen slangetje komt.

Rubberslangetje in het op te warmen water steken. Leerling die naar voren is gekomen vragen om elke 10 seconden de temperatuur af te lezen en ook vragen wat hem of haar opvalt aan de belletjes.

Bij ongeveer 62 °C de brander uitzetten en bij 65 °C het rubberslangetje uit de maatbeker halen. De leerling bepaalt de eindtemperatuur (ongeveer 65 °C) en schat hoeveel water bij de 'melk' gekomen is (ongeveer 7 g).

De 'melk' is nu 65 °C geworden en hoeveel gram stoom hebben we daarvoor nodig gehad? In de buurt van 7 g! Zeker geen 86 g! En we hebben niet eens tot 665 °C verwarmd. Hoe kan dit?

Natuurkundige achtergrond

Zoals uit de proef blijkt heb je voor het opwarmen veel minder gram stoom nodig van 100 °C dan water met dezelfde temperatuur. Dit komt doordat de stoom condenseert. Bij het condenseren komt een enorme hoeveelheid warmte vrij: 2256



Werkblad cappuccinoproef

De volgende formules kunnen je helpen met de opgaven op dit werkblad.

Algemene formules: $Q = m \cdot c_w \cdot \Delta T$ en $Q = L \cdot m$

In dit experiment: $Q_{\text{opgenomen door de melk}} = Q_{\text{afgestaan door het water}}$
 $50 \text{ g} \cdot 4,2 \text{ J/g } ^\circ\text{C} \cdot (65 \text{ } ^\circ\text{C} - 5 \text{ } ^\circ\text{C}) = m_{\text{heet}} \cdot 4,2 \text{ J/g } ^\circ\text{C} \cdot (T_{\text{heet}} - 65 \text{ } ^\circ\text{C})$

$$\rho_{\text{water}} \approx 1,0 \text{ g/ml} ; c_{\text{melk}} \approx c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/g } ^\circ\text{C} ; L = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg} \text{ (verdampingswarmte)}$$

Poging 1: water van 90 °C (T_{heet} is 90 °C)

Bereken hoeveel gram water van 90 °C we bij 50 g 'melk' (hier ook water) van 5 °C moeten voegen opdat temperatuur van de 'melk' 65 °C wordt.

Antwoord:

Poging 2: water van 100 °C (T_{heet} is 100 °C)

Bereken hoeveel gram water van 100 °C we bij 50 g 'melk' van 5 °C moeten voegen opdat de temperatuur van de 'melk' 65 °C wordt.

Antwoord:

Poging 3: heel heet water als het geen stoom zou worden

Bereken T_{heet} als we besluiten om 5 g heel heet water-niet-stoom bij 50 g 'melk' van 5 °C voegen opdat de temperatuur van de 'melk' 65 °C wordt (m_{heet} is dus 5 g).

Antwoord:

Poging 4: stoom van 100 °C

Bereken hoeveel gram stoom van 100 °C we bij 50 g 'melk' van 5 °C moeten voegen opdat de temperatuur van de 'melk' 65 °C wordt.

Antwoord:





joule per gram stoom. Dit is vergelijkbaar met water toevoegen (als het geen stoom zou worden) van 665 °C! Deze warmte wordt gebruikt om de melk op te warmen. Een cappuccinoapparaat gebruikt de ontzettend grote condensatiewarmte van water om de melk op te warmen. Een slimme truc. Dat er veel energie vrij komt merk je ook bij een cappuccinoapparaat. Het opwarmen van de melk gaat gepaard met veel kabaal en gebeurt ook nog eens erg snel. Bovendien wordt de melk meteen opgeklopt. Smakelijke cappuccino!

Veiligheid en milieu

Stoom kan flinke brandwonden veroorzaken. Het is dus oppassen geblazen met de stoom die uit het slangetje komt. Het slangetje kan ook behoorlijk heet worden, dus isolerende handschoenen gebruiken.

Deze demonstratie werd in 2011 als winnaar gekozen bij de jaarlijkse demonstratiwedstrijd van studenten van de VU en van Windesheim. De beschrijving is eerder gepubliceerd in *NVOX* (Hidden e.a., 2011).

Op www.nvon.nl/showdefysica is de handleiding te vinden die tester Peter Duifhuis maakte voor de uitvoering als practicumproef door studenten van zijn tweedegraads lerarenopleiding.

BROEKZAKDEMO : KEPLER



Even wat anders, een tamelijk onbekend drama- of rollenspel.

De docent gaat voorin de klas staan en is de zon, natuurlijk zou je zeggen. Een leerling wordt planeet. Eerst een cirkelbaan. De leerling loopt met constante snelheid om de docent heen. Neem nu een komeet in een sterk elliptische baan. Een leerling speelt komeet, en komt van de deur in de richting van de zon maar schiet er net voorbij, wordt afgebogen en gaat terug. Laat leerlingen individueel even omschrijven (of grafiek schetsen) hoe het snelheidsverloop van de komeet bij het naderen en zich verwijderen van de zon zou moeten zijn. Hoe is dat volgens Kepler? Laat leerlingen in de klas instructies geven aan de leerling die komeet speelt, sneller of langzamer, meer of minder afbuigen. Grote snelheid en scherpe afbuiging nabij de zon, kleine snelheid en kleine afbuiging ver weg. Dan de elliptische banen van de planeten, maar kijk uit, in werkelijkheid zijn het toch bijna cirkels. De afstand zon-aarde verschilt maar een paar procent tussen verste en meest dichtbije stand. Een simulatie is op internet te vinden met de zoektermen 'orbit' en 'perihelion', maar die is wel met een zeer onrealistische planetenbanen.



12

ARCHIMEDES: EEN GAT IN HET WATER



De wet van Archimedes uitgelegd met drukverschil in plaats van dichtheid



15 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: opwaartse kracht, drijven en zinken, druk en drukverschil

Meestal resulteert een demonstratie van de wet van Archimedes in de magische formule 'De opwaartse kracht is gelijk aan het gewicht van het verplaatste water' en wordt die uit het hoofd geleerd. Waardoor een zware metalen boot kan drijven, blijft een mysterie. De vraag waardoor een opwaartse kracht ontstaat blijft onbeantwoord en wordt zelfs niet gesteld: het is gewoon wat water doet.

Zou het niet veel beter zijn te beginnen met wat er gebeurt als je een gat maakt in water? Bijvoorbeeld, neem een heel licht plastic bekertje en zet het bovenop het wateroppervlak in een bak. Duw het in het water ... het water duwt terug. Duw wat meer en het water duwt harder terug.

Nodig

Transparant plastic wegwerpbekertje; aquarium of doorzichtige plastic bak; druppel inkt of kleurstof om water in bekertje te kleuren; metalen gewichtje of voorwerp van minder dan 200 g; watervaste viltstift; inkt of voedselkleurstof.

Voorbereiding

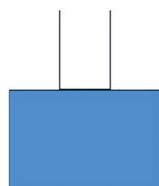
Proberen hoever het bekertje met metalen voorwerp in het water steekt en dat niveau markeren met watervaste viltstift. Even oefenen met zeer licht vasthouden van bekertje om kantelen te voorkomen.



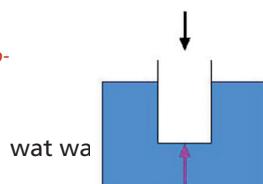
Figuur 1. Een bekertje met gekleurd water drijft in een bak met water; hetzelfde water niveau! De vingers voorkomen kantelen.

Uitvoering

Vraag steeds aan de leerlingen of ze voorspellen wat er met het bekertje zal gebeuren en vraag na de observaties weer verklaringen. Laat een leerling helpen bij uitvoering en verwoorden wat hij of zij voelt bij het duwen, dan kan de docent zelf zich concentreren op tekenen en vragen stellen.



Figuur 2. Een lege plastic beker staat op het wateroppervlak.



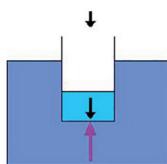
wat wa

Figuur 3. Duw op de beker om een gat in het water te maken (tot aan de eerder gemaakte markering).

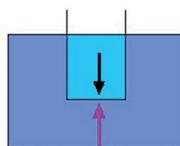




Wanneer hoeft je niet meer te duwen? Precies wanneer het water in de beker het niveau bereikt van het water buiten de beker. Plotseling wordt de wet van Archimedes vrijwel triviaal.

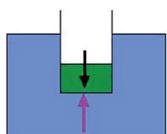


Figuur 4. Met een beetje water in de beker hoeft je minder hard te duwen.

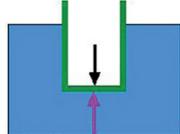


Figuur 5. Je hoeft helemaal niet meer te duwen wanneer het water binnen de beker het niveau bereikt van het water buiten de beker.

Vervang het water in de beker door een stuk metaal met dezelfde massa, maar natuurlijk met een kleiner volume. De beker zal dan even diep drijven. Wat gebeurt er als we dat metaal omvormen tot een beker met dezelfde afmetingen? Dan zal die beker op dezelfde diepte drijven. Verrassend, de moeilijke vraag die de docent meestal moet beantwoorden: "Hoe komt het dat zware metalen boten kunnen drijven?" wordt nu ineens een gemakkelijke vraag.



Figuur 6. Ook met een stuk metaal erin kan de beker drijven.



Figuur 7. Een zware metalen boot kan drijven.

Natuurkundige achtergrond

Druk neemt toe met diepte. De opwaartse kracht op een ondergedompeld voorwerp wordt veroorzaakt door een drukverschil tussen de onderkant en bovenkant van het voorwerp en is gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.

Tips

- Een terrarium uit een dierenwinkel kan goed dienen als plastic bak.
- De demonstratieproef past volgens tester Linda Kemp goed als onderdeel in een les over krachten in 4 havo.

Verder onderzoek

- Voor consolidatie kun je het bekertje leeg bovenop het water zetten en zover vullen met zand (of fietskogeltjes of smarties) dat het bekertje tot het markeerteken in het water steekt. Dan de buitenkant afdrogen en wegen: natuurlijk moet de massa dezelfde zijn als die van het eerdere bekertje water of metalen voorwerp.
- Is de opwaartse kracht in dieper water groter? Laat leerlingen suggesten hoe je daar achter kunt komen. Bijvoorbeeld een veerunster met een gewichtje aan dun draadje net onder het wateroppervlak vergeleken met veerunster en zelfde gewichtje maar nu veel dieper onder water. Let op, veel voorwerpen, zoals een luchtballon, worden samengedrukt en dan is er invloed van diepte.

Deze versie van de proef over de wet van Archimedes is afkomstig van Jon Ogborn (2012).



13 DE CARTESIAANSE DUIKER



10 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: druk, volume, opwaartse kracht, wet van Archimedes

De cartesiaanse of cartesische duiker is een ‘ding’ dat normaal gesproken drijft, maar dat zinkt zodra de vloeistof onder druk wordt gezet. Er zijn diverse uitvoeringen te koop in de vorm van poppetjes, duiveltjes enzovoorts. Er zijn ook verschillende manieren om hem te maken met een kurk, een luciferkop, een pipetje....

Het grote voordeel van de hier beschreven uitvoering is dat je goed kunt zien hoe hij werkt. En hij is makkelijk zelf te maken. De demonstratie toont op verrassende wijze aan dat de opwaartse kracht afhangt van het volume. Maar hij maakt ook de samendrukbaarheid van een gas zichtbaar, en toont het principe van Pascal dat in een vloeistof de druk in alle richtingen wordt doorgegeven. Hij kan dus gedaan worden als de opwaartse kracht aan de orde komt, maar ook bij het onderwerp druk.



De duiker staat klaar...



... en duikt onder.

Nodig

Een reageerbuisje; een doorzichtige fles met niet te nauwe opening (bijvoorbeeld een PET-fles); een dop die de fles goed afsluit.

De fles of de dop moet vervormbaar zijn, zodat de vloeistof onder druk gezet kan worden door te knijpen of op de dop te drukken. Eventueel kan in plaats van een dop een rubberen vliesje (ballon) over de opening van de fles worden gespannen.





Voorbereiding

Vul de fles tot de rand met water. Doe een reageerbuisje op de kop erin, met zó veel water erin dat het nog nét blijft drijven. Dat is even uitproberen en oefenen, wat het beste gaat in een grote waterbak. Doe de dop op de fles. Er mag geen lucht onder de dop zitten.

Uitvoering

Knijp in de fles of duw met je duim op de dop en het buisje zinkt. Als je goed kijkt kun je ook zien hoe dat komt (de lucht in het buisje wordt samengedrukt).

Natuurkundige achtergrond

Als de druk in de vloeistof stijgt wordt de lucht in het buisje samengedrukt, waardoor het volume van de verplaatste vloeistof afneemt, en daarmee de opwaartse kracht. Een cartesiaanse duiker kan ook gemaakt worden van een poreuze stof (bijvoorbeeld een verzwaarde kurk), omdat ook daarin de lucht wordt samengedrukt als de druk in de vloeistof stijgt. Het nadeel van deze duiker is dat poreuze stoffen vaak geleidelijk water opnemen en lucht verliezen, zodat zo'n duiker maar tijdelijk functioneert. De duiker is vernoemd naar René Descartes, of Cartesius, de veelzijdige Franse filosoof en wis- en natuurkundige. Hij was de grondlegger van de moderne filosofie, maar ook van de analytische meetkunde, en hield zich ook bezig met natuurkunde: hydrostatica, optica, mechanica, magnetisme, kristallografie, fysiologie, ... Merkwaardig genoeg schijnen noch de Cartesiaanse duiker, noch het Cartesisch assenstelsel van hem afkomstig te zijn.

Tips

- Eventueel kan de ‘fine-tuning’ van het buisje ook worden gedaan door het, terwijl het al op kop in de fles drijft, te verzwaren met ringetjes die er precies omheen passen. (Dat moeten er niet teveel zijn, want dan kun je niet meer zien wat er in het buisje gebeurt).
- Gebruik een camera om beter te laten zien wat er in het buisje gebeurt.
- Deze proef is een goed uitgangspunt voor een discussie over het verschil tussen wetenschap en magie. Daar hoort natuurlijk een ‘magische’ uitvoering bij.

Verder onderzoek

Als de fles groot genoeg is kan ook worden bekijken wat er gebeurt als de fles 90° gedraaid wordt of zelfs helemaal op de kop wordt gezet. Uiteraard eerst voorspellingen laten doen...

Op Wikipedia is een animatie van de cartesiaanse duiker te vinden, en een instructie voor het maken van een andere uitvoering. Op diverse websites zijn beschrijvingen te vinden voor het maken van zo'n duiker met behulp van buigrietjes, een pennendop of pipet. Er is zelfs een geautomatiseerd experiment beschreven met Lego-Mindstorms: www.thuisexperimenteren.nl/science/cartesian/cartesian.htm

Tester Oda Warringa vond het wel een leuke toegevoegde waarde hebben om de proef op deze andere wijze dan op haar school gebruikelijk uit te voeren, omdat je inderdaad goed kan zien dat het waterniveau stijgt in de reageerbuis als je druk op de dop zet.



14 VLOEISTOF EN GAS



10 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: verdampen, volume, dichtheid, koken

Een simpele demonstratie die op verschillende momenten in het lesprogramma gedaan kan worden, omdat er veel verschillende aspecten aan de orde komen, zelfs optische:

- het volume van gas is veel groter dan van de overeenkomstige hoeveelheid vloeistof;
- een vloeibaar gas kan koken bij kamertemperatuur;
- het wordt dan erg koud;
- verdampen kost energie;
- een kleurloos gas kun je zien dankzij zijn afwijkende brekingsindex;
- butaan is zwaarder dan lucht.

Goed waarnemen -kijken en voelen- is bij deze proef belangrijk. Een POE -aanpak is mogelijk, al zal de 'E' van POE in lagere klassen beperkt blijven.

De proef is een demonstratie omdat butaan een brandbaar gas is.



Het kookt!



Zoveel gas uit een paar druppels vloeistof?

Nodig

Een navulspuitbusje voor aanstekers, dat bevat butaan; een boterhamzakje; een raam dat open kan of een zuurkast.

Voorbereiding

Proberen met welk van de bijgeleverde sputstukjes het zakje zich het makkelijkst laat vullen, en dat even goed oefenen.





Uitvoering

Strijk de lucht uit het boterhamzakje. Steek het spuitstukje van het gasbusje in het zakje; hou het zakje zo goed mogelijk dicht rondom het spuitstukje.

Hou het gasbusje op de kop en spuit ongeveer 1 cm^3 vloeistof in het zakje. (De ideale hoeveelheid hangt vooral af van hoe lang je praat tijdens de proef).

Strijk zo nodig nogmaals de lucht uit het zakje en draai de opening dicht. Hou het zakje bij de opening vast zodat er geen butaan kan ontsnappen.

Laat de leerlingen zien dat de vloeistof kookt en bespreek hoe dat kan. Zou het ook heet zijn? Wie durft te voelen?

Voelen is eng omdat het door de warmte van je vingers extra hard gaat koken: het knettert tussen je vingers. En het blijkt juist heel koud te zijn. Hoe kan dat dan weer? Als een aantal leerlingen gevoeld heeft is de vloeistof verdampd. Het zakje is dan flink opgezwollen: het volume neemt enorm toe bij het verdampen.

Tenslotte laat je het gas voorzichtig uit het zakje lopen, buiten het open raam of in de zuurkast. Je ziet het gas dan omlaag dwarrelen, net als opstijgende warme lucht soms zichtbaar is. Butaan is dus zwaarder dan lucht.

Maar hoe komt het dat je het gas eruit kunt zien stromen? Het is een kleurloos en doorzichtig gas! Maar water is ook kleurloos en doorzichtig, en toch kun je het zien...

Bij deze proef moeten de leerlingen vlakbij de docent zitten of staan, of de docent moet door de klas lopen.

Natuurkundige achtergrond

Om alles globaal te begrijpen zijn slechts enkele basisbegrippen nodig: kookpunt, verdampingswarmte, dichtheid, lichtbreking. Stoffen die bij kamertemperatuur gasvormig zijn hebben een kookpunt lager dan kamertemperatuur. Lichtstralen veranderen van richting bij de overgang naar een andere stof.

Afhankelijk van het niveau van de klas kan overal dieper op ingegaan worden: het molecuulmodel voor de toename van het volume en het feit dat verdampen energie kost; dichtheid en brekingsindex van gassen.

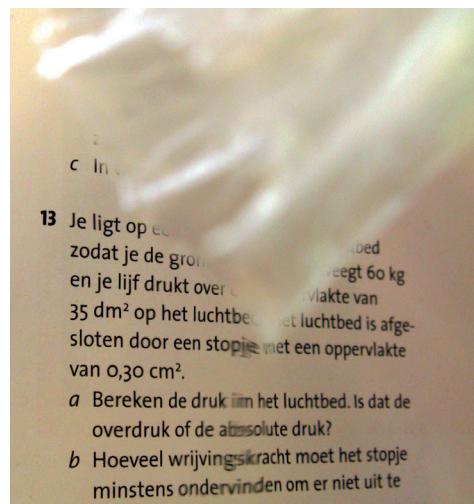
Het kookpunt van butaan bij standaarddruk is 261 K (- 12 °C).

Tips

Misschien kan de zichtbaarheid verbeterd worden door de proef voor een camera te doen en te laten zien op een scherm of digibord. Maar ermee door de klas lopen heeft ook zijn charme!

Veiligheid en milieu

Door de kleine hoeveelheid butaan die gebruikt wordt is er geen gevaar, als er maar geen vuur in de directe nabijheid is. Uiteraard moet het gas na de proef niet in het lokaal 'losgelaten' worden, maar in de zuurkast of buiten.



Zie je het gas?

- 13 Je ligt op een matras op een bed zodat je de grond niet raakt. Je weegt 60 kg en je lijf drukt over een oppervlakte van 35 dm^2 op het luchtbettendoek. Het luchtbettendoek is afgesloten door een stopje met een oppervlakte van $0,30 \text{ cm}^2$.
- Bereken de druk in het luchtbettendoek. Is dat de overdruk of de absolute druk?
 - Hoeveel wrijvingskracht moet het stopje minstens ondervinden om er niet uit te vallen?



15 GROOTTE VAN EEN MOLECUUL



10 minuten



Klas 5

Begrippen: molecuulgrootte, oppervlaktespanning

Hoe groot is een molecuul? Dat is de startvraag: leerlingen kunnen dan een schatting geven.

Daarna de demonstratie. De (globale) berekening kunnen de leerlingen zelf uitvoeren. Bij deze demonstratie gaat het vooral om gevoel voor grootteorde.

Leerlingen kunnen om de demo heen staan, dan is het goed te zien. Je kunt hem ook op een overheadprojector uitvoeren of de webcam gebruiken.



Figuur 1. Schaal met water waarop een laagje krijt- poeder is gestrooid.



Figuur 2. Moleculeldik laagje stearinezuur op het water.

Nodig

Ondiepe schaal, diameter minimaal 20 cm, bij voorkeur van glas (doorzichtig!); zwart papier; stearinezuur; ether; krijt- of talkpoeder; theezeefje.

Voorbereiding

Een oplossing 1,0 g/L stearinezuur in ether (laten) maken.

De dichtheid van stearinezuur is $0,847 \text{ g/cm}^3$; een oplossing van 1,0 g/L betekent dat 0,12% van het volume stearinezuur is.

Uitvoering

Schaal met water vullen, zwart papier eronder, met theezeefje poeder op



wateroppervlakte strooien (heel weinig, maar wel dekkend!).

Eerst een druppel zuivere ether op het oppervlak laten vallen. Er ontstaat een open vlek die doordat de ether snel verdampft ook weer direct sluit. Dit als bewijs dat er echt alleen maar stearinezuur op het oppervlak ligt als je er een druppel mengsel op laat vallen. Dan één druppel stearinezuroplossing er op laten vallen.

Er blijkt dan een duidelijk waarneembare cirkelvorm te ontstaan waarbuiten nog wel poeder op het water ligt, maar binnen de cirkel ligt alleen stearinezuur op het water; zie figuur 2.

Berekening

Bij de geteste uitvoering blijken er 77 druppels in 1,0 mL stearinezuroplossing te gaan.

Het volume van 1 druppel = $1,0 \cdot 10^{-6} / 77 \text{ m}^3 = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$.

Het volume stearinezuur (0,12%) in die ene druppel is dan $V = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$.

De ontstane cirkelvormige plek met het laagje stearinezuur heeft een diameter van ongeveer 10 cm → oppervlakte $A = 0,25 \times \pi \times (0,10)^2 = 7,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Dikte d van het laagje stearinezuur = $V/A = 1,5 \cdot 10^{-11} / 7,9 \cdot 10^{-3} = 1,9 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 1,9 \text{ nm}$.

Dat komt redelijk overeen met de orde van grootte van de lengte van een molecuul stearinezuur. Lane et al. (1984) geven ruim 2 nm als lengte aan.

Het betreft hier lange moleculen die met hun hydrofiele kop in het water 'staan'.

Tips

Je kunt eventueel een webcam gebruiken om het voor de leerlingen beter zichtbaar te maken. Zorg dan wel dat het niet teveel spiegelt.

De demonstratie gaat ook goed met oliezuur en met hexaan of met ethanol als oplosmiddel. Zie www.nvon.nl/showdefysica voor links naar proefbeschrijvingen hiervoor.

Veiligheid en milieu

Vanwege de ether: niet aan ruiken.



16 GELUIDSVLAM



5 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: geluid, longitudinale trilling, resonantie

Leerlingen kunnen zich geluid als longitudinale trilling moeilijk voorstellen. Met deze proef kun je (door *Predict, Explain, Observe*) hun conceptueel begrip versterken.



Met een frequentie van 5,0 Hz is het verschijnsel goed te zien.

Nodig

Toongenerator; luidspreker, waarvan de conus zichtbaar is; forse kaars (eventueel een waxinelichtje); lucifers.

Voorbereiding

Test de opstelling; de vlam moet niet te dicht bij de luidspreker staan.





Uitvoering

Op de foto zie je een kaarsvlam die voor een luidspreker staat. Je laat de luidspreker trillen met een frequentie van 5 Hz. Welke beweging krijgt de vlam nadat de luidspreker is aangezet?

Je kunt hier een meerkeuzevraag van maken:

De vlam zal ...

- a. op en neer bewegen (groter en kleiner worden);
- b. van de luidspreker af bewegen;
- c. heen en weer bewegen (naar en van af de luidspreker);
- d. helemaal niet gaan bewegen;
- e. worden uitgeblazen;
- f. anders, namelijk....

Natuurkundige achtergrond

De longitudinale geluidsgolf zal de vlam heen en weer doen gaan. Het antwoord op de meerkeuzevraag is C, want het geluid gaat als een longitudinale golf door de vlam heen. In een longitudinale golf bewegen de 'deeltjes' heen en weer in de richting van de golf.

Tips

Als het vlammetje te klein is om door de gehele klas gezien te worden kun je het vergroot weergeven door een webcam te gebruiken.

Vraag de leerlingen om een voorspelling wat er gebeurt bij bijvoorbeeld 50 Hz.

Verder onderzoek

Kun je andere dingen laten meetrillen? Strookje (vloeipapier, draadje wol?)

Bij welk volume trilt het nog? Kun je het volume zo groot maken dat hij uit gaat?

Er zijn internetfilmpjes waarin je ziet hoe glas springt bij resonantie met geluid, bijvoorbeeld: www.youtube.com/watch?v=BE827gwnnk4.

Een tester constateerde dat bij gebruik van een grote kaars met een lange lont alleen tonen met frequenties tussen 1 en 10 Hz goed zijn te zien. Voor hogere frequenties is de vlam te groot om de passerende golven goed te volgen. Als je een klein kaarsje gebruikt, dan worden tonen tot 30 à 40 Hz nog goed door de kaarsvlam gevuld. Nadeel is dat de vlammen relatief klein zijn om goed te zien te zijn voor alle leerlingen in de klas.



17 BLUSSEN ZONDER WATER



5 minuten

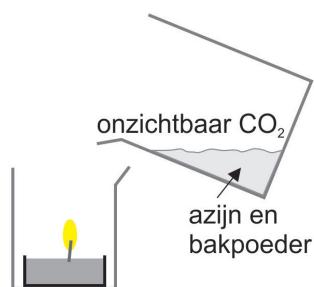


Vanaf klas 1

Begrippen: gas, dichtheid, brand

Bij deze demonstratie steek je een waxinelichtje aan en vervolgens blus je het zonder water.

Het bestaan van een gas is voor onderbouwleerlingen moeilijk voor te stellen. Bijna alle gassen zijn niet zichtbaar, dus kun je moeilijk bedenken hoe een gas zich precies gedraagt. De demonstratie laat het gedrag van een gas zien.



Figuur 1. Schema van brandend waxinelichtje en een glas met azijn en bakpoeder.



Figuur 2. De inhoud van het glas met azijn en bakpoeder giet je over de kaars.



Figuur 3. Het waxinelichtje dooft.

Nodig

Kaars (waxinelichtje); glas waar de kaars in past; glas of pot; aansteker/lucifers; azijn; soda of bakpoeder.

Voorbereiding

Doe azijn en soda of bakpoeder in de pot. Niet te veel, want het gaat borrelen en dan borrelt het uit het potje. Het borrelen komt door het koolstofdioxidegas dat vrijkomt.

Uitvoering

Je hebt de kaars in een glas gezet en stekt hem aan.

Maak een gietende beweging met het potje vlak boven de vlam (zie figuur 1 en 2). De vlam gaat uit (figuur 3) omdat de koolstofdioxide eroverheen vloeit.

Achtergrond

Soda en azijn reageren met elkaar en er zal koolstofdioxide vrij komen. Dit gas is zwaarder dan lucht en blijft dus in het bekerglas, ook is het onzichtbaar. Vervolgens dooft dit gas de kaarsvlam zonder dat het lijkt of dat er iets gedaan is.





Tips

Hierna kun je nog wat vertellen over de gevaren van verstikking door CO₂ en andere zware gassen. Een voorbeeld is de Nyos ramp in 1986. Hierbij kwam uit het kratermeer van een vulkaan in Kameroen plotseling zo veel CO₂ omhoog dat een groot aantal omwonenden in hun slaap verstikten.

Laat ook een brandblusser zien die berust op deze blussende werking van koolstofdioxide.

Deze blusser zijn direct te herkenbaar omdat ze een zwarte expansiekoker of sneeuwkoker aan het uiteinde van de slang hebben. Tussen expansiekoker en slang zit een handvat, dat men tijdens gebruik van de blusser moet vasthouden. Het handvat is nodig omdat het uiteinde van de onbeschermd koker zeer koud wordt (tot ongeveer -80 °C) en men door deze extreme kou derdegraads brandwonden op kan lopen.

Verder onderzoek

Laat een tweede kaars branden in een jampot die je afsluit. Giet als hij uit is het gas over naar de brandende eerste kaars: dooft die?

Tester Pieter Snels gebruikt bij een alternatieve uitvoering twee hoge standglazen waarvan er één gevuld wordt met CO₂ uit een cilinder; in het andere standglas zit lucht. Een kaarsje aan een ijzerdraadje wordt in het standglas met lucht gehouden en blijft branden. Daarna in het standglas met CO₂; dan dooft het onmiddellijk.

Vervolgens schenk je alsof je vloeistof schenkt het CO₂-gas in het andere standglas. Het zwaardere koolstofdioxidegas verdringt de lucht, en je herhaalt de proef met het brandende kaarsje. Vooral het overschenken vinden de leerlingen hilarisch; dat maakt dat de proef beklijft.

Indien geen CO₂-gascilinder aanwezig, dan gebruikt Pieter Snels wat vast koolzuursneeuw uit een afgedankte blusser om het standglas met CO₂ te vullen. Dat werkt ook prima.



18 WARMTECAPACITEIT



10 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: warmtegeleiding, warmtecapaciteit

In deze demonstratie zet je twee even grote cilinders van verschillende metalen met dezelfde (hoge) begintemperatuur in een buisje met vast kaarsvet. Welke cilinder zal het snelst in het kaarsvet zakken?



De situatie op het moment van plaatsing van de metalen cilinders.



De situatie twee minuten later.

Nodig

Stukjes kaarsvet; twee even grote metalen cilinders met haakje bovenaan (bijvoorbeeld aluminium en ijzer); twee glazen buizen (waarin de cilinders passen); touw (minimaal 30 cm); waterkoker met 1 L kokend water.

Voorbereiding

Maak de uiteinden van het touwtje vast aan de haakjes van de cilinders. Hang de beide cilinders gedurende minstens 5 minuten in de waterkoker. Dit kost je ca. 10 minuten. Vul de twee buizen voor de helft met stukjes kaarsvet. Laat dat smelten en weer stollen. Daardoor heb je nu twee buizen met elk (ongeveer) evenveel vast kaarsvet zonder lucht erin. Dit kost je ook ca. 10 minuten.

Uitvoering

Predict. Welke van de twee cilinders zal het snelst in het kaarsvet zakken?

Explain. Leg je antwoord kort uit.

Observe. Haal nu met behulp van het touwtje de twee cilinders uit het (kokende)



water. Even het hete water er af schudden. Breng elke cilinder in een buis met (vast) kaarsvet. Je ziet dan dat de ijzeren cilinder sneller in het kaarsvet wegzakt dan de aluminiumcilinder.

Natuurkundige achtergrond

Explain. De cilinder die de meest warmte kan opnemen uit het water, zal ook de meeste warmte kunnen afgeven aan het kaarsvet.

Je kunt dit berekenen als je van elke cilinder de massa bepaalt en de soortelijke warmte opzoekt in Binas (tabel 8 en eventueel tabel 9).

Met bijvoorbeeld 0,073 kg ijzer en 0,025 kg aluminium wordt de berekening:

$$C_{Fe} = m_{Fe} \cdot c_{Fe} = 0,073 \text{ (kg)} \times 460 \text{ (J/kgK)} = 34 \text{ J/K}$$

$$C_{Al} = m_{Al} \cdot c_{Al} = 0,025 \text{ (kg)} \times 880 \text{ (J/kgK)} = 22 \text{ J/K}$$

(Bedenk dat de dichtheid van Fe bijna 3 × zo groot is als van Al)

Tips

Uit de test kwamen de volgende tips.

- Wij hebben messing en aluminium gebruikt. Dat ging ook goed.
- Het vullen van de maatcilinders is niet moeilijk. Wij hebben een waterbad gebruikt waarin de cilinders gevuld met paraffine stonden. Daarnaast hadden we ook een maatbeker gevuld met paraffine, omdat de paraffine in de cilinders nog behoorlijk slinkt. Na het stollen met enkele mL aanvullen. De paraffine slinkt namelijk bij het stollen, waardoor er een soort van meniscus ontstaat en het dus onnauwkeurig aflezen is. Met het vullen ben je dan ook langer dan 10 minuten bezig. Ik denk dat het ons zeker 20 minuten gekost heeft.
- Bij het uitvoeren van de proef zag je duidelijk dat de messingcilinder sneller zonk.

BROEKZAKDEMO : RUTHERFORD-EXPERIMENT



Het atoommodel van Rutherford is vaak moeilijk te visualiseren voor leerlingen. Laat een leerling achter in het lokaal (lokaal = het goudatoom) een bal of een tas omhoog houden. Die tas is de atoomkern. De docent neemt wat stukjes krijt en krijgt een blinddoek om of doet de ogen dicht. Vanuit willekeurige posities voor in het lokaal gooit de docent krijtjes naar achteren. De kans dat de stukjes krijt de tas raken is klein. Hoe kleiner de tas, des te kleiner de kans dat één van de stukjes krijt de tas raakt. Dus het aantal hits, of beter de verhouding raak versus niet-raak zegt iets over de afmetingen van de tas. Rutherford schoot met alfa-deeltjes en die gingen bijna allemaal rechtdoor. Een enkele kaatste terug. Daaruit kon hij afleiden dat de straal van de kern ongeveer 1/10.000 van de straal van het atoom was. Eigenlijk verwachtte Rutherford een grote en zachte kern en dat de meeste alfadeeltjes daarin zouden blijven steken. Dat was dus niet het geval.



19 WARMTEGELEIDING



5 minuten



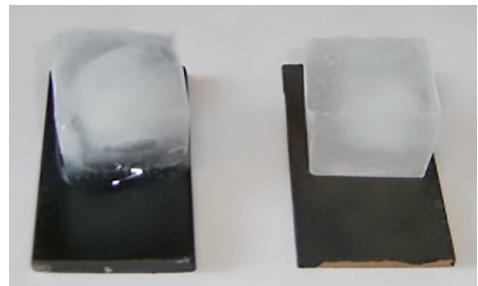
Vanaf klas 1

Begrippen: warmtegeleidingscoëfficiënt; metaal en niet-metaal

Deze demonstratie past in discussies over het verschil in warmte en temperatuur. Veel mensen hebben daar verkeerde ideeën over, zodat een docentgeleide discussie belangrijk is. Je vergelijkt hier de warmtegeleidingscoëfficiënten van een metaal en een niet-metaal. Je legt op beide materialen een ijsblokje. De vraag is: Welk ijsblokje zal het eerst smelten?

Nodig

Plaat van aluminium, bijvoorbeeld
6 cm x 6 cm x 0,5 cm; een even grote plaat
van plexiglas (hout kan ook); zwarte verf
(spuitbus); ijsblokjes.



Het ijsblokje links smelt het eerst.

Voorbereiding

De beide blokken zwart schilderen, zodat de leerlingen geen verschil in materiaal zien.

Uitvoering

Predict. Welk ijsblokje zal het eerst smelten? Waarom?

Observe. Leg op beide blokken een ijsblokje. Al snel zul je zien dat het ene ijsblokje (op de plaat van aluminium) in beweging komt en smelt, terwijl er met het andere ijsblokje zo goed als niets gebeurt.

Natuurkundige achtergrond

Explain. De plaat van aluminium geleidt het beste de warmte.

Warmtegeleidingscoëfficiënten van vaste stoffen vind je in Binas, tabel 8, 9 en 10.

Materiaal	Warmtegeleidingscoëfficiënt
aluminium	237 W/mK
koper	390 W/mK
plexiglas	1,9 W/mK

Tips

Het kan ook met twee even grote lepels, een van plastic en een van metaal. Schilder ook die beide zwart.

Verder onderzoek

Je kunt ontdooiplaten kopen waarop je vlees buiten de magnetron heel snel kunt ontdooen. Dat zijn (als je goede hebt) geverfde stukken koper. Als je een slechte hebt, dan betaal je veel te veel voor een stuk geschilderd staal. Een metalen pan ondersteboven zetten werkt ook prima. Hoe dikker de bodem, hoe beter.





In een filmpje van Veritasium (een science-programma op YouTube) loopt de interviewer over een markt met dezelfde vraag. Hij laat mensen eerst voelen aan een boek en aan een harde schijf. Dan vraagt hij waarop een ijsblokje sneller smelt. Het aardige is dat sommige voorbijgangers best een eind in de goede richting komen als het gaat om het temperatuurbegrip. Je kunt dit filmpje vinden door te googelen met als trefwoorden: 'Veritasium' en 'misconceptions about temperature'.

BROEKZAKDEMO : BERNOULLI

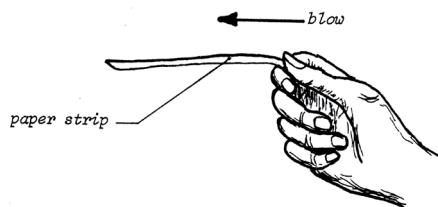


Bernoulli 1

Houd een vel A4 papier iets onder het midden aan twee kanten vast en laat het een beetje opstaan en de bovenkant hangt over (figuur A). Blaas over het papier. De bovenkant komt omhoog terwijl iedereen zou verwachten dat je die omlaag blaast. Wel even uitproberen voor optimaal vasthouden en optimale positie van de mond t.o.v. papier. Je kunt het ook doen met strippen papier van 15 x 3 cm en die uitdelen aan leerlingen of zelf even laten scheuren (figuur B). Er zijn nog allerlei andere Bernouilli-variaties (Liem, 1987).



Figuur A (uit Liem, 1987).



Figuur B.

Bernoulli 2

Ga verder met de demonstratie, pak nog een vel A4, of scheur nog een pagina uit het schrift van één van de leerlingen als je geen papier meer had. Houd de twee pagina's aan de zijkant vast en laat ze in de richting van de leerlingen wijzen. Vraag leerlingen te voorspellen wat er gebeurt als je tussen de twee pagina's blaast en waarom (PEOE-model). Even ideeën van leerlingen terugvragen. Dan blazen, de pagina's gaan naar elkaar toe terwijl men verwacht dat ze meer uit elkaar gaan. Nu had je natuurlijk ook zo'n speelgoedhelikopter mee moeten nemen als klapstuk van de Bernoulli-demonstraties, maar, pas op, het is niet alleen het Bernoulliprincipe dat vliegtuigen in de lucht houdt. Belangrijker is de reactiekracht op de vleugels als gevolg van lucht die horizontaal tegen de vleugel stroomt en naar beneden wordt afgebogen. De vleugel staat altijd onder een kleine hoek met de vliegrichting ('angle of attack').



20 OPTILLEN VAN EEN VLAM



5-10 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: warmtegeleiding, ontbrandingstemperatuur

Deze demonstratie toont een gevolg van warmtegeleiding: je kunt er zelfs een vlam mee afschermen. Het is een variant op de koude tegelvloer, die warmte weggeleidt van je voeten. Bij deze demo geleidt het gaasje de warmte weg.



Bij beide foto's is de vlam een stukje opgetild van de (blauwe) brander met behulp van een gaasje. Op twee manieren is te zien dat er onder het gaasje geen vlam is: op de linkerfoto ontbrandt een lucifer onder het gaasje niet en op de rechterfoto houdt de demonstrator zijn vinger onder het gaasje. Lees daarvoor eerst de veiligheidstips.

Nodig

Brander; gaas van een driepoot; krozentang (of iets dergelijks, goede ovenwant werkt ook); lucifer.

Of (zie tips): kaars(je); gaasje uit de kraan (bij de opening), verkrijgbaar bij de bouwmarkt; tang.

De beschrijving bij uitvoering gaat uit van de variant met brander.

Voorbereiding

Steek de brander aan. Gebruik een gele vlam.

Uitvoering

Je kunt de leerlingen een beetje 'opstoken' door te vragen of ze iemand kennen die vlammen kan optillen zonder de brander aan te raken.

Schuif nu het gaasje vanaf de zijkant tussen de brander en de vlam. Je kunt dan met het gaasje de vlam een stukje optillen. Om aan te tonen dat je de vlam echt opgetild hebt, kun je een lucifer boven en onder het gaasje houden. Boven het gaas ontbrandt die direct, eronder niet. Iets spectaculairder is het om je vinger onder het gaasje te plaatsen.





Let daarbij wel op dat je de gasstroom niet verstoort en lees de veiligheidstips hieronder. Je kunt dan vervolgens de verklaring door de leerlingen laten geven. Daarbij kan de tip helpen dat dit hetzelfde effect is als de koude voeten die je krijgt op een stenen vloer. Als vervolgvaag kun je de leerlingen laten bedenken hoe je kunt aantonen dat er onder het gaasje wel gas zit. Dit kan bijvoorbeeld door een brandende lucifer onder het gaasje te houden.

Natuurkundige achtergrond

Het gaasje geleidt de warmte zo goed weg (en straalt die vervolgens uit, zodat het weinig opwarmt) dat de ontbrandingstemperatuur onder het gaasje niet bereikt wordt. Als je het gaasje bovenop de vlam houdt, dan heb je een vlamverdeler, zoals die gebruikt wordt op een gasfornuis.

Tips

- Je kunt de vlam ook volledig doven door het gaas steeds hoger op te tillen. Let wel op de veiligheidstips.
- Ook bij een kaarsvlammetje kun je (iets minder spectaculair) hetzelfde effect laten zien. Je kunt dan een gaasje uit een kraan en een klein tangetje gebruiken. Je kunt nu voorzichtig de vlam boven het lontje optillen; dat toont direct aan dat er iets anders brandt dan het lontje (het verdampte kaarsvet). Ook hier kun je de vlam naar beneden duwen.

Verder onderzoek

Als je het gaasje hoger optilt, dan wordt de vlam steeds blauwer. Het maakt dus niet uit waar je de lucht aanvoert. Als iedereen heel stil is en er is geen verstoorende luchtstroom, dan kun je hem zelfs zacht horen ruisen. Ook dit kun je laten verklaren door de leerlingen.

Veiligheid en milieu

De vlam kan om het gaasje heen slaan, zeker als er een luchtstroom is of je het gas met je vinger om het gaasje heen dwingt. Laat dit om die reden nooit door leerlingen met hun vinger proberen. De ervaring van de auteur is dat hij zelf snel genoeg reageert om niets negatiefs te merken als de vlam plotseling toch onder het gaasje opduikt. Als je de vlam hoger tilt, dan wordt deze steeds onrustiger en is de kans op eromheen slaan groter. Ik laat dat gevaar ook zien en vertel erbij dat daarom voor deze proef geldt "I did it, so you don't have to try this at home".



21 LUCHT IS NIET NIKS



Het gewicht van lucht bepalen met ballonnen



15-30 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: eigenschappen van materie, gewicht, opwaartse kracht, zwaartekracht

Voor jonge kinderen is 'lucht' niet echt iets. In een leeg glas zit immers: niets. Door het gewicht van lucht te vergelijken met dat van lucifers wordt lucht tastbaar(der). In de bovenbouw kun je het effect van de opwaartse kracht erbij betrekken. De opstelling is bedrieglijk eenvoudig; een juiste voorspelling en verklaring bedenken is niet triviaal.

Nodig

Een paar rietjes, enkele identieke ballonnen, een naald, een stukje vislijn (of garen).

Voorbereiding

Prik de naald door beide rietjes, bevestig aan de uiteinden van de ene lussen van vislijn zodanig dat er evenwicht is als je er lege ballonnetjes aanhangt. Zie figuur 1.

Uitvoering en resultaten

Predict

Laat zien dat de balans met de ballonnetjes kan draaien. Kondig aan dat een van de ballonnen zal worden opgeblazen en teruggehangen.

Vraag: "Wat denk je dat er dan gaat gebeuren? Blijft de balans (a) in evenwicht, (b) gaat de lege ballon omlaag, of (c) juist de volle ballon? Leg uit wat je verwacht, en waarom je dat verwacht."

Onderbouw:

Bespreek de verwachtingen en redeneringen. Concludeer: de zwaarste kant gaat naar beneden. Dus:

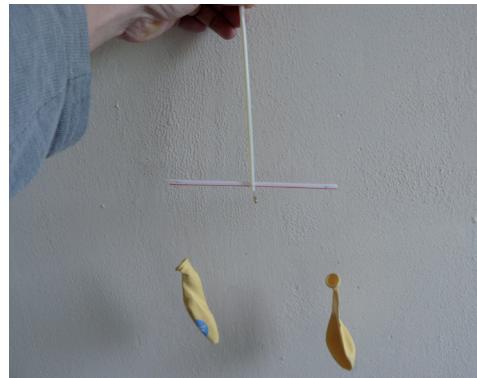
Als antwoord a goed is, weegt de lucht in de ballon **niets**.

Als antwoord b goed is, weegt een lege ballon **meer** dan een volle ballon

Als antwoord c goed is, weegt een opgeblazen ballon **meer** dan een lege ballon.

Bovenbouw:

Vul aan: "Bedenk bij je voorspelling dat je de opwaartse kracht *niet* mag verwaarlozen in dit geval! Bij het opblazen van de ballon kan de zwaartekracht veranderen maar ook de opwaartse kracht."



Figuur 1. Twee lege ballonnen wegen even veel.



Observe

Blaas een van de ballonnetjes op en hang het opnieuw op. Als dit zorgvuldig wordt gedaan is er geen evenwicht meer: de lucht in de opgeblazen ballon maakt die kant zwaarder. Evenwicht kan hersteld worden door bijvoorbeeld lucifers in het nog lege ballonnetje te stoppen. Normaliter heb je 2 à 3 lucifers nodig om het evenwicht te herstellen.



De volle ballon beweegt omlaag.

Explain

Uitleg onderbouw. Een balans is een slim apparaat om te bepalen hoeveel je van iets hebt. Er zijn allerlei soorten balansen, ons type gebruiken mensen al duizenden jaren om gewichten te meten. Onze balans is wel bijzonder, je kunt er zelfs het gewicht van de lucht in een ballon mee meten. Dat gewicht is heel klein maar wel groter dan dat van een lucifer.

Meten is in de wetenschap heel belangrijk om te testen of je ideeën kloppen. We hebben gezien dat lucht iets weegt: al kun je lucht niet zien, lucht is niet niks, lucht is echt iets.

Uitleg bovenbouw. Bij het opblazen van de ballon neemt de zwaartekracht toe (meer massa) maar ook de opwaartse kracht (meer volume). Omdat de lucht in de ballon samengeperst is ten opzichte van de omringende lucht is de dichtheid groter geworden. De zwaartekracht is daarom meer toegenomen dan de opwaartse kracht, de volle ballon daalt.

Natuurkundige achtergrond

Een balans vergelijkt de zwaartekracht op twee voorwerpen. Dat gaat goed als er alleen een homogeen zwaartekrachtveld heerst, dus wel in een versnellende lift maar niet in een medium met grote dichtheid. Bij een weegschaal die een zwaartekracht met een veerkracht vergelijkt is het vaak precies andersom.

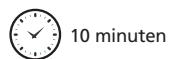
De opwaartse kracht op de opgeblazen ballon is gelijk aan de zwaartekracht die op dat volume zou werken als daar gewone lucht zat: $F_{opw} = F_z$ (gewone lucht). Op de balans werkt aan de rechterkant:

$$F_z \text{ (volle ballon)} - F_{opw} = F_z \text{ (ballon + samengeperste lucht - gewone lucht)} = \\ F_z \text{ (ballon + extra lucht)}.$$

Verwaarloos de opwaartse kracht links, dan is de zwaartekracht op de lucifers dus gelijk aan die op de extra lucht die in de ballon is geperst. Volg je de gebruikelijke definitie van 'gewicht' als de netto kracht op de ondersteuning *dan is dit evengoed het gewicht van alle lucht in de opgeblazen ballon*. Het gewicht van die lucht is dan *niet* gelijk aan de zwaartekracht die op die lucht werkt, en je maakt in de onderbouw *geen* fout als je het in deze proef hebt over 'het gewicht van de opgeblazen ballon'.



22 ZWAAR EN LICHT IJS



10 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: warmtegeleiding en –stroming, uitzetting, dichtheid

De demonstratie laat zien hoe belangrijk stroming is bij warmtetransport in een vloeistof. Je kunt ook zien en – met uitzetting en dichtheid – verklaren hoe de stroming verloopt. Een waarneming een half uur na de proef bevestigt dat water een heel slechte warmtegeleider is.

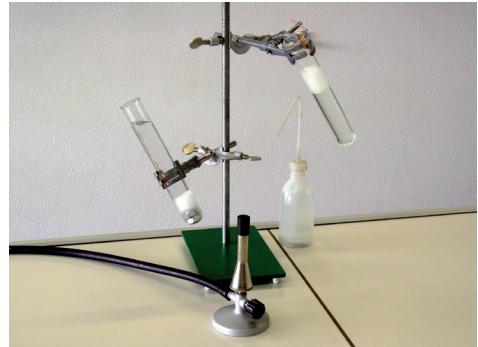
Goed waarnemen (kijken en eventueel voelen) is bij deze proef belangrijk. Een POE-aanpak is mogelijk.

De proef kan ook als leerlingenpracticum worden uitgevoerd, maar dat vergt nogal wat voorbereiding en er is veel instructie nodig om te zorgen dat het goed gaat.

Dan nog is er het risico van verbrande vingers en uit de buis sputzend kokend water.



De voorbereiding.



Klaar voor de start.

Nodig

Twee dikke vuurvaste reageerbuisen; twee daarin passende ijsklonten, waarvan één zodanig verzwaard is dat hij zinkt; een statief met twee klemmen; een brander; een kraan of sputtflesjes met water; een spatelpuntje kaliumpermanganaat of andere sterk kleurende stof.

Voorbereiding

Maak ijsklontjes met en zonder verzwaring. Een cilindervorm is het handigst. Plastic fotobusjes zijn geschikt: bij onze buisen passen de ijsklonten er dan net niet in, maar na even in de hand houden wel. Het verzwaaide klontje moet zinken; dat lukt bijvoorbeeld met een paar grote ijzeren moeren erin. Die moeten wel goed midden in het ijs zitten, anders is de kans groot dat ze voortijdig uit het ijs vallen en het ijs naar boven schiet. Bovendien is het leuker als het publiek niet meteen ziet dat er iets in het ijs zit.

Zet de twee buizen onder een hoek van 45° in statiefklemmen, zó dat de ene in de vlam geschoven kan worden met de onderkant, en de andere op ongeveer 2/3 van de hoogte van de buis. Dat kan met één statief, desgewenst ook met twee. Zie de foto's.





Uitvoering

Vul beide buisjes voor ongeveer de helft met water. Doe in het hoogstgeplaatste buisje het gewone ijsklontje en stel vast dat het drijft. Vertel vervolgens dat je ook 'zwaar ijs' hebt en doe dat in het andere buisje: het zinkt... Hoe kan dat?

Spuit zo nodig nog wat water bij tot de buizen voor driekwart gevuld zijn.

Steek de brander aan en verhit daarmee de onderkant van de buis met het gewone ijs. Dat begint vrijwel meteen te smelten, vooral langs de bovenzijde van de buis. Doe er een paar kristalletjes permanganaat in om te laten zien hoe de circulatie verloopt. Bespreek hoe dat komt. Dat kan ook achteraf.

Zet vervolgens de brander onder de andere buis, zó dat het water enkele centimeters onder de oppervlakte verhit wordt. Na korte tijd kookt het water bovenin de buis, terwijl het ijs onderin niet zichtbaar smelt. Laat iemand aan de onderkant van de buis voelen: ijskoud! Ook dit kan ter plekke of achteraf verklaard worden.

Laat de buizen na afloop rustig staan. Aan het eind van het lesuur mogen leerlingen nog een keer (voorzichtig) voelen: de ene buis is dan egaal warm, de andere nog steeds bovenin heet en onderin ijskoud. Dit bevestigt dat water een erg slechte warmtegeleider is.



Het zware ijs smelt niet, terwijl het water bovenin kookt.

Natuurkundige achtergrond

Met de begrippen dichtheid en uitzetting is alles te verklaren. Daarna kan zo nodig het verschil tussen warmtegeleiding en warmtestroming worden besproken en eventueel moleculair verklaard.

Water (en ook lucht) verwarmen gaat dus het best van onderaf. Maar afkoelen...?

De proef toont ook aan dat water een zeer slechte warmtegeleider is. Daar maak je bijvoorbeeld gebruik van als je een 'wetsuit' draagt: een millimetertje water isoleert al heel behoorlijk.

Tips

Als je kleurstof toevoegt is een witte achtergrond nuttig voor de zichtbaarheid. Misschien kan de zichtbaarheid worden verbeterd door de proef voor een camera te doen en te laten zien op een scherm of digibord.

Verder onderzoek

Als vervolg zou het afkoelen en bevriezen van water in de winter kunnen worden onderzocht. Zie www.nvon.nl/showdefysica.

Veiligheid en milieu

Bij gebruik van de brander en het verwarmen van vloeistoffen moeten de gebruikelijke veiligheidsvoorzorgen worden genomen. Richt bijvoorbeeld de buizen niet op jezelf of op de toeschouwers. Let op dat het kurk van de statiefklemmen niet verschroeit of vlam vat.



23 HOOGSPANNING



30-50 minuten

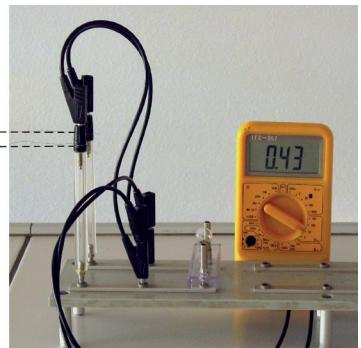
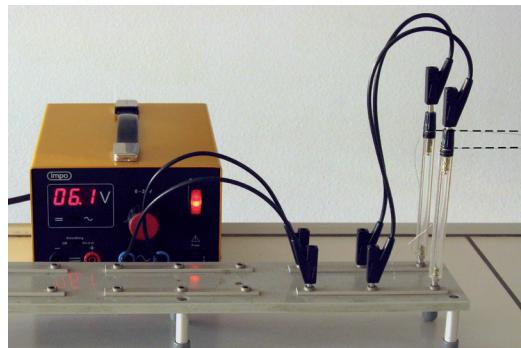


Vanaf klas 4

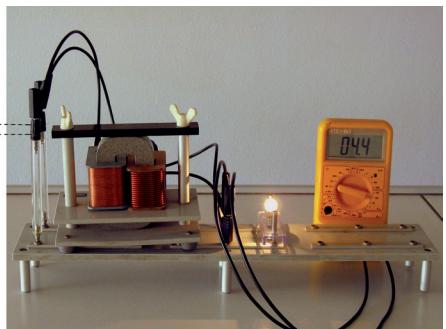
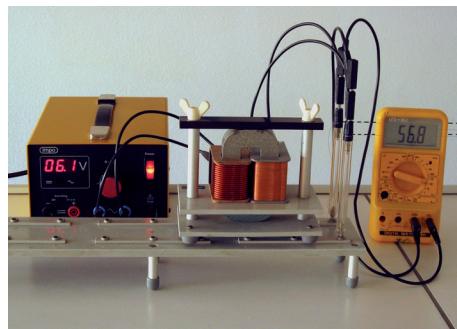
Begrippen: transformator, elektrisch vermogen, spanningsdeling, vervangingsweerstand

Een vrij ingewikkelde demonstratie waarmee je laat zien dat elektrisch energietransport efficiënter is bij hoge spanning. Daarbij komen naast de transformator vrijwel alle basisbegrippen uit de elektriciteit aan de orde.

In simpele vorm kan deze proef ook al in de onderbouw, zonder teveel theorie, dienen om te laten zien dat transformeren nuttig kan zijn. Deze demonstratie kan niet worden uitgevoerd als leerlingenpracticum omdat er op de 'hoogspanningslijn' meer dan 40 V wisselspanning kan komen te staan, en dat kan gevaarlijk zijn.



Zonder transformatoren: geen licht.



Met transformatoren: het licht brandt!

Nodig

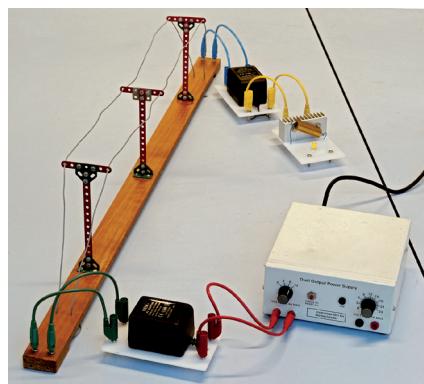
Twee demonstratietransformatoren met, indien mogelijk, dezelfde transformatieverhouding (bijvoorbeeld 50 : 600), of twee (liefst gelijke) netadapters of beltransformatoren; wisselspanningsvoeding (0-30 V); wisselstroommeter(s) (bereik minimaal 0,5 A); wisselspanningsmeter(s), liefst digitaal met niet te kleine cijfers (bereik hangt af van de transformatoren, misschien wel 500 V).



Lampje (bijvoorbeeld 6 V; 0,5 A) in fitting; lange dunne draden met een weerstand liefst wat groter als van het brandende lampje (constantaandraad 0,20 mm voldoet goed); stekkerpennen en schakel- of statiefmateriaal om de 'hoogspanningslijn' te bouwen; diverse snoeren, ook enkele hele lange.

Voorbereiding

1. Bouw een 'hoogspanningslijn' van de twee dunne draden, 1,5 à 2 m lang als de demonstratietafel dat toelaat.
2. Sluit aan de ene kant de voeding aan (wisselspanning!) en aan de andere kant het lampje.
3. Sluit een spanningsmeter aan op de bron.
4. Leg eventueel een tweede spanningsmeter klaar met lange snoeren (moeten de lengte van de hoogspanningslijn kunnen overbruggen).
5. Zet uit het zicht de twee transformatoren klaar, zó dat ze in een handomdraai in het circuit opgenomen kunnen worden.
6. Leg twee snoeren klaar die net zo lang zijn als de transportlijn.
7. Zet ook de stroommeter klaar.



Zo kan het ook.

Uitvoering

Maak er een verhaal van; een voorbeeld staat op www.nvon.nl/showdefysica.

Links staat de elektriciteitscentrale, rechts is een dorp of stad, daartussen is de transportleiding. (Leg even een papiertje op de draden voor het geval leerlingen achterin die niet zien). De klant moet 6 volt hebben (hangt af van het gebruikte lampje).

Zet de voeding op 6 V (gebruik de spanningsmeter), en constateer dat het licht niet of nauwelijks brandt. Meet de spanning bij de klant: veel te laag!

Meet eventueel ook de stroomsterkte, bereken het vermogen dat de klant krijgt en het verliespercentage.

Voer de spanning van de centrale op tot de klant wel 6 V krijgt; dan levert de centrale ... V (meten). Het relatieve verlies blijft hetzelfde.

Probleemanalyse: de verbruiker staat in serie met de transportlijnen; de spanning verdeelt zich dus over lijnen en klantbelasting.

Draai de bron terug naar 6 V. Meet de spanning over beide lijnen en de verbruiker en stel vast dat het totaal 6 V is.

De lijnen hebben dus teveel weerstand in verhouding tot de verbruiker. De verbruiker heeft onvermijdelijk een zeer kleine weerstand omdat het een parallelschakeling is van ontelbare apparaten en lampen: dat geeft een zeer kleine vervangingsweerstand.

Eerste oplossing: de weerstand van de lijn kleiner maken. Vervang de dunne draadjes door 'normale' snoeren (gewoon even parallel schakelen), dan is het probleem opgelost.

Op deze schaal kan dat, maar in werkelijkheid is dat onbetaalbaar...

Bekijk het op een andere manier: Als de weerstand van de lijn niet makkelijk kleiner te krijgen is, dan moet er minder stroom doorheen, want het energieverlies is $I^2 \cdot R$. Maar het vermogen moet wel hetzelfde blijven. Dat kan als we de spanning hoger maken, want het getransporteerde vermogen is $U \cdot I$.



Dus de tweede oplossing is: twee transformatoren invoegen. De eerste transformeert omhoog en de tweede omlaag. Stel de 'centrale' weer in op 6 V en zie dat het licht nu wel goed brandt. Meet de spanning bij de verbruiker.

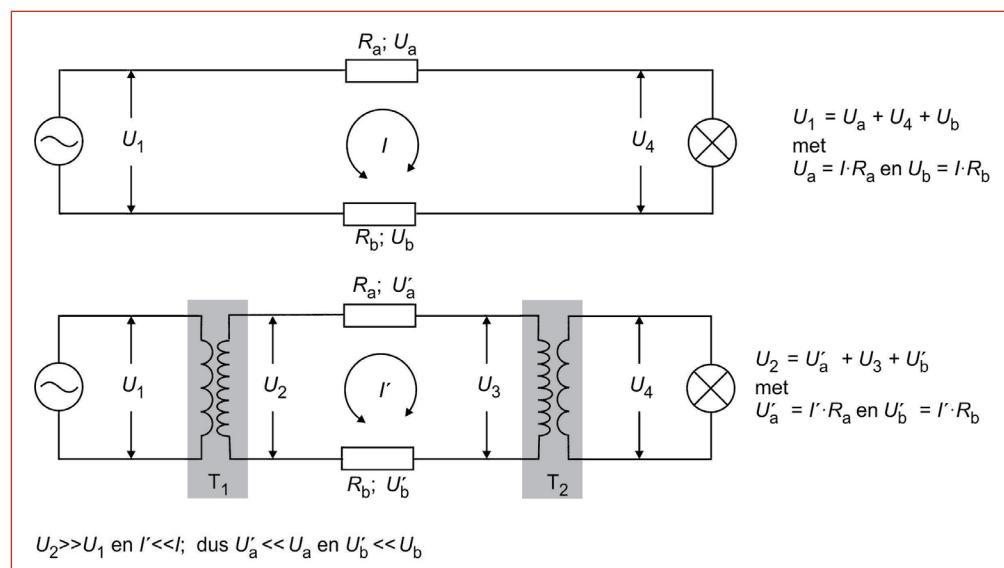
Meet ook de spanning op de transportlijn en kijk of dat (ongeveer) klopt met de transformatieverhouding.

Meet eventueel de stroomsterkte door de lijn (voorzichtig!) en stel vast dat die veel kleiner is dan zonder de transformatoren, dus $I^2 \cdot R$ is veel kleiner.

Meet ook de spanning 'over de lijn' en stel vast dat die ook veel kleiner is. Het spanningsverlies is dus veel kleiner geworden terwijl de spanning veel groter is. Relatief hakt dat er dubbel in...

Bespreek tenslotte de hele schakeling nog eens: er zijn drie afzonderlijke stroomkringen met elk een bron en een verbruiker. Als de transformatoren ideaal zijn, is er alleen verlies in de transportlijn.

Indien gewenst kan dan alles wat nodig is worden gemeten en de hele schakeling worden doorgerekend. Daarvoor is de beste strategie: de hele schakeling tekenen, alle gegevens erin zetten en dan kijken waar je kunt beginnen met rekenen.



Beide schakelingen schematisch getekend.

Natuurkundige achtergrond

Het is duidelijk dat hier de werking van de transformator bekend moet zijn, maar dat ook bijna alle basisbegrippen uit de elektriciteit een rol spelen. Die moeten natuurlijk wel bekend zijn; het 'nieuwe' van dit experiment is vooral de toepassing. Als zodanig kan het experiment een goede herhaling en integratie-oefening zijn, zeker als het ook doorgerekend wordt, of als er een goed reken voorbeeld volgt.



Tips

- Als bij de gebruikte transformatoren geen geschikte lampjes te vinden zijn kan een geschikte (vermogen)weerstand als belasting gebruikt worden, met 'voor het oog' een klein lampje parallel daaraan.
- Sommige collega's hebben een 'modelhoogspanning' voor deze demonstratie; zie foto op pagina 71.
- Als je de proef alleen kwalitatief wilt doen, bijvoorbeeld in een onderbouwklas, kun je beginnen met het lampje direct op de centrale aan te sluiten en die zo in te stellen dat het lampje goed brandt. Dan de transportlijn ertussen en daarna de transformatoren.
Dan hoeft je helemaal niets te meten om toch het principe te laten zien.

Verder onderzoek

Natuurlijk kan er volop verder geëxperimenteerd worden, bijvoorbeeld met verschillende belastingen, verschillende transformatieverhoudingen, verschillende lijnen. Maar niet zonder toezicht...

Veiligheid en milieu

Afhankelijk van de gebruikte voeding en transformatoren kan er een spanning van meer dan 40 V op de lijn komen, bij gebruik van netadapters of beltrafo's zelfs honderden volt. Dus geen leerlingen vlakbij de opstelling en niet meer dan één hand aan de hoogspanning...

Dit is een aspect waar ook nog nader op ingegaan kan worden: De spanning op de lijn is gevaarlijk hoog. Waarom kun je hem toch gerust met één hand vastpakken? Maar wat moet je beslist niet doen? En als je één punt zou aarden?

Zie ook www.nvon.nl/showdefysica.



24 KANON VAN GAUSS

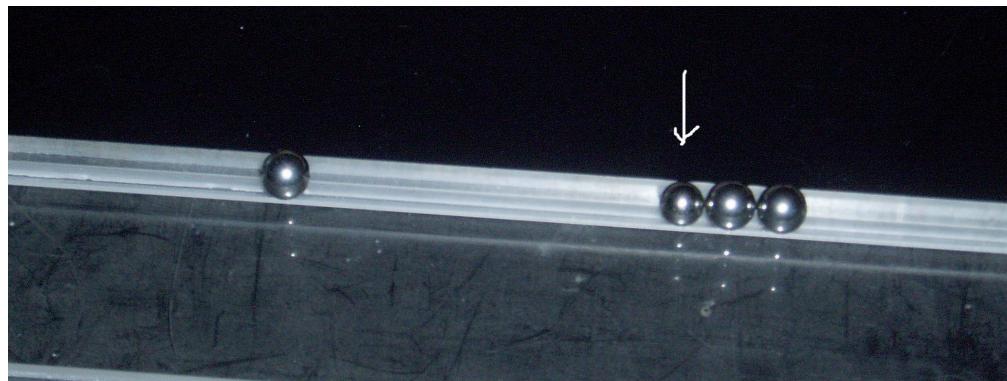


10 minuten

Vanaf klas 3

Begrippen: magnetisch veld, potentiaalput, energiebehoud, wet van Lenz

Een stalen kogel rolt op rijtje kogels af. Het rijtje begint met een magneetkogel. De achterste kogel schiet er vandoor met een veel grotere snelheid dan de oorspronkelijke kogel. Een 'kanonskogel'? Zijn de wetten van de mechanica getart? Hoe zit dat nu met de behoudswetten? Een demonstratie omdat de meeste scholen niet zoveel magneetkogels zullen hebben en omdat de verklaring van het verschijnsel goed geleid moet worden.



Een stalen kogel rolt op een rijtje kogels af; een ervan is een magneetkogel.

Nodig

Magneetkogels (www.supermagnete.nl); tenminste 4 stalen kogels met ongeveer dezelfde afmetingen; een kunststof of houten goot

Uitvoering

Drie gewone kogeltjes liggen op een rij in een goot van kunststof of hout. Een vierde kogeltje rolt er rustig op af. Na de botsing verlaat het laatste kogeltje uit de rij zijn plaats met de snelheid van de inkomende kogel. Er gebeurt weinig bijzonders. Vervang nu de eerste kogel uit de rij door een qua vorm en grootte identieke magneetkogel. Laat leerlingen voorspellen wat er gebeurt als je de proef herhaalt.

Weer rolt een vierde kogel er rustig op af. De laatste kogel uit de rij schiet weg met grote snelheid. Hoe kan dat?

Doe de proef nogmaals. Maar kijk dan heel goed naar de botsende kogels. Wat zie je gebeuren?

Natuurkundige achtergrond

Bal B ligt op de grond. Om bal B aan de rechterkant het heuveltje op te brengen moet je enige moeite doen. Ofwel bal B een tik geven zodat hij snelheid krijgt en het heuveltje



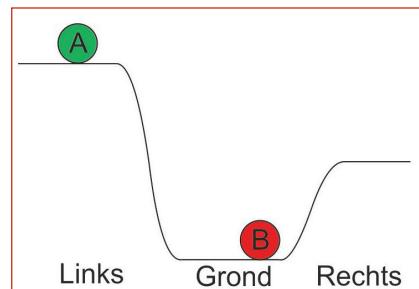


op rolt.

Bal A ligt op een heuveltje, links. Als hij een klein zetje krijgt, rolt hij naar beneden en krijgt daarbij een flinke vaart.

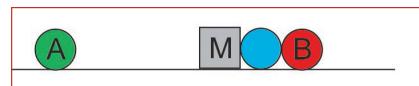
Bal A rolt tegen B aan, A komt stil te liggen, B neemt de snelheid over en rolt de heuvel rechts op. Bovenaan gekomen heeft hij zelfs nog energie over en rolt door.

(A verliest meer zwaarte-energie dan B nodig heeft om uit de put te komen.)



Op een rail liggen drie ballen en een magneet M. Die magneet trekt de blauwe bal stevig aan, want die blauwe bal ligt dicht bij de magneet. Bal B wordt minder sterk aangetrokken, want ligt verder van de magneet af.

Om bal B los te krijgen moet je enige moeite doen. Oftewel bal B een tik geven zodat hij snelheid krijgt en los komt.



Als je bal A een zetje geeft, dan rolt hij naar M toe. Hij wordt flink aangetrokken, versnelt en botst met een vaart tegen M aan. A komt stil te liggen en de impuls wordt doorgegeven via de blauwe bal aan bal B. Die bal B neemt de snelheid over en rolt weg naar rechts. Eenmaal los van de magneet heeft hij nog energie over en rolt met flinke vaart door.

(A verliest meer magnetische energie dan B nodig heeft om los te komen.)

Tips

Zie ook demonstratie 35, Newton's cradle.

Verder onderzoek

Maakt het uit waar de magneetkogel zich bevindt? Plaats de magneetkogel aan de andere kant van de rij en kijk wat er gebeurt. Wat gebeurt er als de magneetkogel in het midden zit? Kun je met dit 'kanon' naar de maan schieten?

Deze demo is goed uit te breiden tot een praktische opdracht. Daarbij kun je de snelheid voor en na de botsing meten. Is er een verband tussen de snelheid van de kogel voor de botsing en de snelheid van de kogel na de botsing?

Deze demonstratie is eerder beschreven in NVOX (Pring in 't Veld, 2007).

Met de zoekterm *Gaussian gun* zijn op YouTube filmpjes te vinden.

Tester Freek Pols vond de demo goed uit te voeren en kreeg leuke en verbaasde reacties van leerlingen.



25 ROLLENDE MAGNETEN



15 minuten



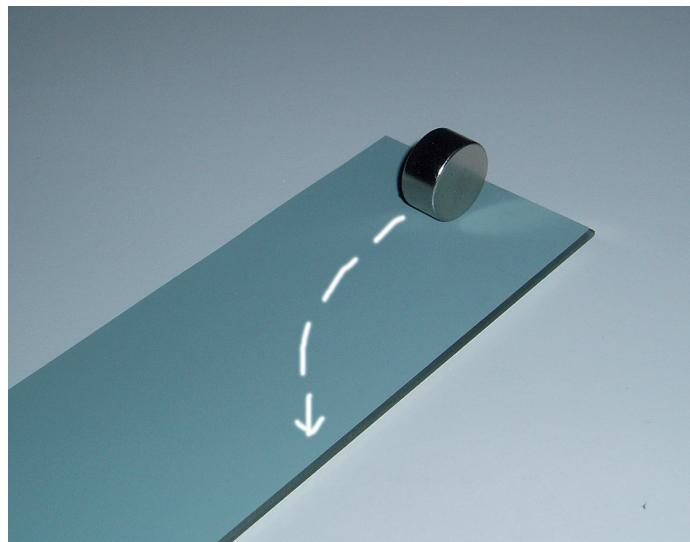
Vanaf klas 3

Begrippen: aardmagnetisch veld, supermagneet, veldwerking

Een rollende magneet rolt niet rechtdoor. Hoe kun je de afwijking zo groot of zo klein mogelijk maken? Verrassing als startpunt van begrijpsdiscussie over veldwerking.

Nodig

Cilindervormige supermagneet (www.supermagnete.de); kunststofcilinder (massief) met globaal dezelfde afmetingen; plankjes van hout of kunststof.



Kan een rollende magneet wel op het rechte pad blijven?

Voorbereiding

Doe deze demonstratie op enige afstand van ferromagnetische materialen of voorwerpen. Zoek uit hoe je de demonstratie uit moet voeren zó dat de magneet bij het rollen duidelijk afwijkt van een rechte lijn.

Uitvoering

Leg beide cilinders naast elkaar op het vlak. Voorspel wat er gebeurt als je één kant van het vlak een klein beetje omhoog tilt. De kunststofcilinder rolt ‘gewoon’ naar beneden. De magneet echter rolt niet recht naar beneden maar maakt een krul. Wat gebeurt er als ik het hellende vlak 180 graden draai? De magneet krult de andere kant uit. Hoe kan dat?

Bestaat er een oriëntatie waarbij de magneet gewoon rechte lijn naar beneden rolt? En hoe krijg ik de afwijking zo groot mogelijk?

Natuurkundige achtergrond

Elke magneet richt zich in het aardmagnetisch veld. Ook onze cilindervormige magneet. Ze probeert haar Noordpool richting geografische Noordpool te richten en moet daar soms een beetje voor draaien. De afwijking van een rechte lijn hangt af van hoek die de magnetische dipool maakt met de noord-zuid richting van het plaatselijke aardmagnetisch veld.





Tips

Gebruik de webcam om het verschijnsel goed zichtbaar te maken.

Deze demonstratie is eerder gepubliceerd in *NVOX* (Pring in 't Veld, 2007).

BROEKZAKDEMO : RESONANTIE



Heeft iemand in de klas een glazen fles met iets erin? Water, fris, of ...? De docent drinkt steeds een beetje, blaast dan over de opening van de fles om geluid te produceren, en tikt met een muntje tegen de kant van de fles. Wanneer het water of de frisdrank op is, blijkt dat de toon van één van die geluiden steeds omlaag is gegaan, en van het andere omhoog. Verklaar! (Tip: om het spannender te maken kun je een leerling voor de les in het geheim even een glazen flesje met wat erin geven en dan is het voor de anderen net alsof de docent dat inpikt en opdrinkt.)



26 MYSTERIES MET MAGNETEN



15 minuten

Vanaf klas 4

Begrippen: wervelstromen, wet van Lenz, magnetische rem

Een bewegende magneet wekt wervelstromen op in het metaal er vlakbij. Die wervelstromen kunnen de beweging van de magneet beïnvloeden: vertraging en verandering van richting. Drie eenvoudige demonstraties die zich ook lenen voor open dagen.

Nodig

Kogelvormige supermagneet (www.supermagnete.nl); cilindervormige supermagneet (www.supermagnete.nl); stalen kogels met dezelfde afmetingen als de kogelmagneet; twee aluminium hoekprofielen, ongeveer 80 cm lang; een dikke koperen strip; een frisdrankblikje en een schaar.

Voorbereiding

Test de demonstratie. Gebruik een camera om te kleine verschijnselen zichtbaar te maken, bijvoorbeeld de beweging van de kogel over het koperen plaatje.

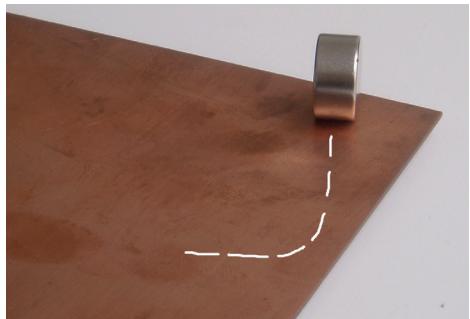
Uitvoering

1. Stel de twee hoekprofielen naast elkaar op. Een stalen kogel en een magneetkogel zijn bijna even groot en starten tegelijk bovenaan de racebaan. Welke kogel is het eerst beneden? Verklaar.



Een race tussen de stalen kogel en de magneetkogel.

2. Rol de cilindermagneet over de koperen strip. De rolrichting moet een kleine hoek met de rand van de strip maken. Vlakbij de rand lijkt de magneet aarzelen en hij rolt niet over de rand. Hoogtevrees? Rol verder naar de volgende rand. Weer een afwijking. Hoe kan dat??



Heeft de magneet last van hoogtevrees?





3. Maak een gat in de zijkant van het frisdrankblikje. Knip nu de bodem uit het blikje. De bodem draait makkelijk rond op de tafel met de bolle kant naar beneden. Ligt de bodem stil dan kun je haar aan het draaien krijgen door een magneet erboven rondjes te beschrijven. Draait de bodem, dan kun je die remmen door de magneet in de buurt te houden. Je hebt dan een magnetische rem verkregen. Een dergelijke rem kan ook gebruikt worden om het vliegwiel van een elektrische bus af te remmen.



Met een magneet kun je de bodem van een blikje rondjes laten beschrijven.

Natuurkundige achtergrond

De bewegende magneet heeft een stroom in het aluminium tot gevolg die (volgens de wet van Lenz) de oorzaak van zijn ontstaan tegenwerkt. Die wervelstroom remt de beweging van de magneet. De stalen kogel heeft geen last hiervan. De rollende magneet veroorzaakt ook wervelstromen in de koperen strip. Die stroom is niet meer symmetrisch vlakbij de rand; de binnenbocht wordt sterker geremd dan de buitenbocht en de magneet beweegt enigszins van de rand af.

Verder onderzoek

Je kunt de magneet in plaats van over de hoekprofielen ook door aluminium buizen laten bewegen. Kies de diameter van de magneet zó dat hij nét in de buizen past. Laat nu de magneetkogel en de gewone kogel tegelijk door twee naast elkaar gehouden buizen vallen.

Voorspel hoe de wervelstromen in de buiswand lopen. Dwars op de as van de buis of evenwijdig ermee? Om dat te laten zien maak je in een derde en in een vierde buis sleuven. In buis drie een lange sleuf evenwijdig met de lange as. In buis vier een serie sleufjes loodrecht op de lange as. In welke buis wordt de magneet het meest vertraagd?

Deze demonstraties zijn eerder beschreven in NVOX (Pring in 't Veld, 2007).



27 DE KERSTBOOM



10 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: serie- en parallelschakeling, weerstand van een lampje, vervangingsweerstand

Een demonstratie voor even ‘tussendoor’. Uitstekend geschikt voor een POE-aanpak, waarbij de leerlingen in korte tijd veel kunnen overdenken en leren. Ook geschikt als inleiding op het behandelen van (combinaties van) serie- en parallelschakelingen, of juist een paar lessen later om te kijken of het nog ‘zit’.

Het gaat over (1) de verdeling van stromen in een parallelschakeling, (2) de verdeling van spanning in een serieschakeling en (3) eventueel ook de variabele weerstand van een lampje en de vervangingsweerstand.

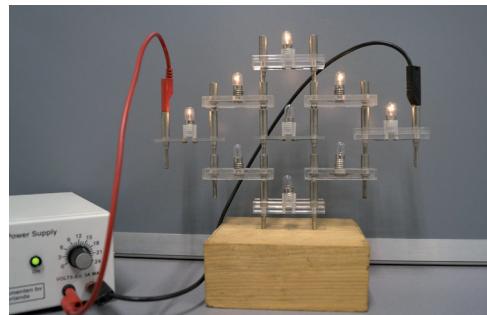
De demonstratie kan al gedaan worden in de onderbouw, na een eerste kwalitatieve behandeling van serie- en parallelschakelingen.

Bij een practicum gaat veel tijd zitten in het opschrijven van waarnemingen en verklaringen; bij een demonstratie ligt de nadruk op het verdiepen van begrip. In de praktijk is de volgorde van handelen ook sterk afhankelijk van de respons uit de klas.

Nodig

Minstens negen gelijke lampjes in een ‘opsteek’-fitting (bijvoorbeeld 6V; 0,5A); enkele snoertjes; regelbare spanningsbron.

Natuurlijk kan de schakeling ook gemaakt worden met fittingen en snoertjes; voor onderbouwleerlingen is dat zelfs overzichtelijker. Maar dan moet het geheel weer ergens op vastgezet worden. De opstelling zoals gefotografeerd kun je met één hand vasthouden, dan heb je de andere hand vrij voor uitleg.



De ‘Kerstboom’.

Voorbereiding

Lampjes in de fittingen draaien en het geheel in de gewenste vorm in elkaar steken.

Uitvoering

Laat de leerlingen voorspellen, verifiëren en verklaren wat je ziet gebeuren als je:

1. de spanning geleidelijk opvoert,
2. vervolgens één of meer lampjes losdraait (bijvoorbeeld 2, 5, 9, ...)
3. een verbinding maakt tussen verschillende aansluitingen (bijvoorbeeld B en C, B en D, B en E, ...)

Daarnaast kunnen ook vragen gesteld worden als:

1. Wat moeten we doen om te zorgen dat er vijf lampjes even fel branden?





2. En om zes lampjes even fel te laten branden?

Uiteraard wordt ook dat geverifieerd, al dan niet in combinatie met het tekenen van de betreffende schakeling.

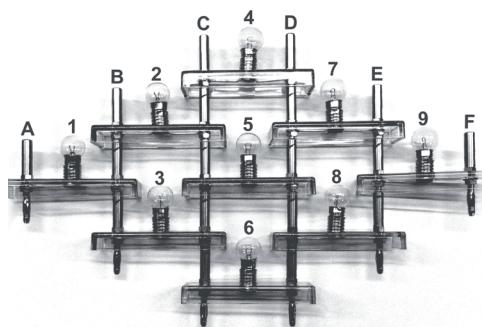
Eventueel kan ook begonnen worden met het tekenen van het schakelschema.

Natuurkundige achtergrond

De te geven verklaring kan heel begrippsmatig en kwalitatief, maar ook stevig en kwantitatief. In het laatste geval speelt mee dat de weerstand van de lampjes niet constant is. Als je stromen en spanningen gaan meten zou je eerst voorspellingen kunnen laten doen op basis van een constante weerstand en daarna bespreken hoe de uitkomsten zullen afwijken bij de lampjes. Wie tot het uiterste wil gaan kan zelfs door metingen de weerstand per lampje bepalen. Zie ook de tip hieronder.

Tip

Voor wie deze proef toch graag door de leerlingen zelf wil laten doen: maak een werkblad waarop de schakeling een aantal malen is getekend. Daarop kun je dan aangeven welk(e) lampje(s) losgedraaid moet(en) worden, en de leerlingen kunnen meteen aangeven wat ze dan zien, bijvoorbeeld door inkleuren. Dan is er een directe visuele koppeling tussen wat je doet en wat je ziet. Die gaat verloren bij verbale instructies als "Draai lampje 3 los" met als waarneming "Dan gaat lampje 2 feller branden en alle andere lampjes zwakker".



Als je dieper erop in wilt gaan is het handig de lampjes en aansluitpunten een naam te geven.

Verder onderzoek

Deze proef heeft verschillende uitbreidingsmogelijkheden waarbij diverse onderzoeksvaardigheden (hypothese stellen – experimenteel toetsen – evalueren – hypothese bijstellen) en zelfs ontwerpvaardigheden aan bod komen.

Je kunt bijvoorbeeld:

- de schakeling groter maken, dus méér lampjes gebruiken;
- aan de leerlingen een aantal verschillende typen lampjes voorleggen, bijvoorbeeld 3,5 V; 0,2A en 6V; 0,10Aen vragen hoe je die verschillende lampjes in de schakeling moet plaatsen om te zorgen dat ze allemaal zo goed mogelijk branden;
- een stroommeter in serie met het geheel aansluiten en ook voorspellingen over de stroomsterkte laten doen;
- voorspellingen laten doen over de verdeling van de spanning en die controleren met een spanningsmeter;
- de vervangingsweerstand van het geheel laten uitrekenen op basis van een constante weerstand;
- de vervangingsweerstand ook opmeten en bespreken waarom het niet klopt met de berekening;
- de karakteristiek van de gebruikte lampjes geven, de verdeling van de spanning meten en met deze gegevens de vervangingsweerstand écht uitrekenen;
- die karakteristiek ook nog door de leerlingen zelf laten opmeten.



28 GROOT EN KLEIN, SERIE EN PARALLEL



15 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: vermogen, stroomsterkte, spanning, serie- en parallelschakeling

Gaat er door een klein lampje een kleine stroom en door een grote lamp een grote stroom? Voorspel welk lampje het felst zal branden in de parallelschakeling: het grote of het kleine? En in de serieschakeling? Schrijf je antwoord op. Leg uit en overleg met je buur over jullie antwoord.

Bij deze demonstratie krijgen basisbegrippen uit de elektriciteitsleer (vermogen, stroomsterkte, spanning, serieschakeling en parallelschakeling) een concrete betekenis.

Nodig

Een lamp (230 V; 60 W) en enkele lampjes (6 V; 0,45 A); een regelbare transformator voor 0-230 V en een beschermende behuizing rondom het lampje.

Voorbereiding

Twee panelen: één voor de serieschakeling en één voor de parallelschakeling.

Uitvoering

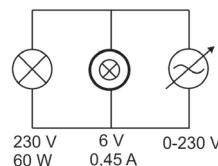
De kracht van deze demonstratie ligt in de voor- en nabesprekking en de mogelijke discussie.

Bij de voorbesprekking moeten de leerlingen voorspellen wat er gebeurt.

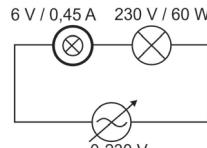
Zet het eerste paneel klaar waarbij de transformator nog niet is aangesloten.

Welk lampje zal het felst branden in de parallelschakeling: het grote of het kleine? Er zijn weinig docenten die de resultaten goed voorspellen. Het

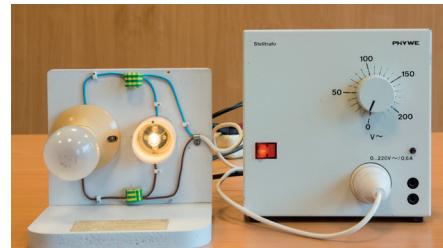
is dan ook uitzonderlijk dat een leerling een goede voorspelling doet. De leerlingen schrijven hun voorspelling op en overleggen vervolgens met zijn of haar buur over de argumenten die tot die voorspelling hebben geleid. De docent laat het resultaat zien en



Twee lampen parallel aangesloten op een regelbare transformator.



Serieschakeling van twee lampen aangesloten op een regelbare transformator.



De parallelschakeling aangesloten op een regelbare transformator. Een kokertje met een perspex dekseltje omhult het lampje.



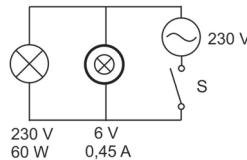


gaat in op de leerlingantwoorden.

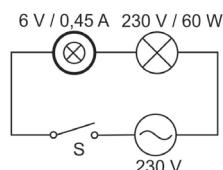
Daarna zet je het tweede paneel klaar en vraagt wat er zal gebeuren in de serieschakeling. Laat weer het antwoord opschrijven, uitleggen aan de buur en overleggen over de antwoorden.

De docent laat weer het resultaat zien en gaat in op de leerlingantwoorden.

De demonstratie zelf is ook op een andere manier uitvoerbaar. Nu met de volle netspanning en gebruik van een schakelaar. Laat de leerlingen weer voorspellen enzovoorts.



Parallelenschakeling met schakelaar aangesloten op de netspanning.



Serieschakeling met schakelaar aangesloten op de netspanning.

Natuurkundige achtergrond

Wanneer je de regelbare spanningsbron gebruikt en de spanning opvoert vanaf 0 V, dan gaat het lampje snel fel branden en springt het bij ongeveer 15 V kapot. Logisch: het is een 6 V lampje. Wanneer je daarna de spanning verder opvoert, dan gaat de grote lamp langzamerhand gewoon branden.

Zet je ineens de volle netspanning over beide lampen, dan springt het lampje. Maar waarschijnlijk springt de zekering ook. In dat geval zal de grote lamp uiteraard niet branden. Blijft de zekering heel, dan brandt de grote lamp normaal.

Bij het tweede paneel met serieschakeling gaat door beide lampen dezelfde stroomsterkte. De lamp gaat langzamerhand branden en uiteindelijk normaal branden. Het lampje gaat een klein beetje gloeien, nauwelijks waarneembaar. Voor de verklaring moet de stroomsterkte door de grote lamp worden berekend bij normaal branden. $I = P/U = 60/230 = 0,26 \text{ A}$. Dat is dus veel minder dan de stroomsterkte door het lampje bij normaal branden.

Tips

De uitvoering met de regelbare bron eerst uitvoeren; deze leent zich het best voor discussie.

Leerlingen vinden de uitvoering met de netspanning en schakelaar het leukst.

Veiligheid en milieu

Het lampje wordt oneigenlijk gebruikt en wordt dus voorzien van kokertje plus deksel. Je werkt bij deze demonstratie met een spanning tot 230 V op een ongebruikelijke manier en op een mogelijk gevaarlijke manier.

Als je een lampje (6V; 0,45A) direct aansluit op een transformator en de spanning verhoogt tot 230 V, springt het lampje kapot. Vandaar dat het lampje in een behuizing wordt ondergebracht. Wanneer je de spanning geleidelijk opvoert, dan gaat het gloeidraadje stuk. Vergeet niet de spanning af te schakelen als lamp en of lampje worden verwisseld.

Een nadeel van de proef is dat het lampjes kost en dat wellicht de kleine fitting verbrandt.



29 GLOEILAMP UITBLAZEN



15 minuten



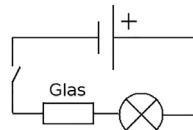
Vanaf klas 1

Begrippen: NTC, serieschakeling, vermogen, warmte-ontwikkeling

Het primaire doel van deze demonstratie is het aantonen van het NTC gedrag van glas. Met deze demo kun je op veel niveaus concepten uit de elektriciteitsleer bespreken. Je kunt leerlingen aan het denken zetten over de opwarming ten gevolge van stroom.

Nodig

Willekeurige gloeilamp; gloeilamp van 40-60 W (zie tips); twee fittingen (voor netspanning), waarvan liefst één keramisch in verband met vuurvastheid; netspanningsschakelaar; stekker met randaarde en gasbrander;



Figuur 1. Schakelschema van de opstelling. De weerstand bestaat uit een stukje glas (zie figuur 3).



Figuur 2. Als je het stukje glas (voorzichtig!) verwarmt, dan wordt de weerstandswaarde kleiner en gaat de gloeilamp branden.

Voorbereiding

- Je maakt het glas van één van de gloeilampen volledig kapot. Dat gaat het best met een hamer terwijl de gloeilamp helemaal in een laag papier is gewikkeld. De scherven zijn vlijmscherp! Vervolgens haal je de gloeidraad weg. Ook een eventueel aanwezige steun voor de gloeidraad moet je verwijderen, bijvoorbeeld met een glaszaagje. De voormalige lamp ziet er dan uit zoals in figuur 3 (onder dat die gloeit).
- De bewerkte lamp en de intacte lamp plaats je in een geschikte fitting, die niet te hoog aan de rand is (in verband met het latere verwarmen). Deze lampen schakel je in serie samen met een schakelaar.



Figuur 3. Het stukje glas blijft geleiden, ook nadat het uit de vlam is gehaald. Door tegen dit glas te blazen, kun je het afkoelen en gaan de gloeilamp uit.

Uitvoering

Je tekent de schakeling op het bord, zet de opstelling klaar en relateert de opstelling aan de schakeling. De brander is niet zichtbaar. Vervolgens vraag je de klas of de lamp aan zal gaan als de schakelaar wordt omgezet. Als de discussie is gevoerd, zet je de schakelaar om en haal je de brander tevoorschijn.

Verwarm het glas voorzichtig in de ruisende vlam: steeds kort in de vlam en weer eruit halen. Na een tijdje verwarmen gaat de lamp branden. Terwijl je blijft verwarmen in de





vlam, kun je de klas vragen wat er zal gebeuren als je stopt met verwarmen en de fitting met glas neerzet. Dit levert meestal een levendige discussie op. Als die discussie lang genoeg geduurde heeft en voldoende diepgang heeft gehad, dan haal je het glas uit de vlam. Tot verbazing van een flink deel van de klas, blijft de lamp aan, hoe lang je ook wacht.

Tot slot laat je zien hoe je de gloeilamp wel uit kunt krijgen: wanneer je tegen het glas blaast, koelt het af. Uiteindelijk gaat de lamp uit. Het kost wel moeite, dus je kunt spelen dat je buiten adem raakt vlak voordat het stukje glas stopt met gloeien (paar keer oefenen). Als je op dat moment stopt met blazen en het vermogen van de lamp is goed gekozen, dan warmt het stukje glas weer op en gaat de lamp weer langzaam aan.

Natuurkundige achtergrond

Glas gedraagt zich als een NTC, omdat het wat betreft elektronenstructuur enigszins lijkt op een halfgeleider. Bij kamertemperatuur is de geleidingsband leeg en de bandkloof te groot voor de elektronen om over te steken. Bij verwarmen krijgen de elektronen voldoende thermische energie om de bandkloof over te steken en gaat het glas steeds beter geleiden. De ionen in het glas spelen geen rol bij de geleiding.

Tips

- Het vermogen van de gloeilamp ten opzichte van de exacte eigenschappen en dimensies van het stukje glas is kritisch: als het vermogen te laag is, dan is de stroomsterkte te klein om het glas warm te houden. Als het vermogen te groot is, dan kun je de lamp niet uitblazen. Probeer het dus goed uit. De auteur heeft bij verschillende versies van deze demonstratie lampen van 40 W, 60 W en zelfs 75 W moeten gebruiken voor het gewenste resultaat. Dit biedt ook een mogelijkheid om met de leerlingen na te denken over het effect van het vermogen van de brandende lamp.
- Als je een goed werkende combinatie hebt gevonden, hamster dan wat gloeilampen (exact dezelfde); over een paar jaar kan dat wellicht niet meer.
- Voor een maximaal show-effect kun je het lokaal verduisteren.

Veiligheid en milieu

Zorg dat je een (veiligheids)bril op hebt (idem voor de voorste rij leerlingen, of plaats een scherm).

Deze demonstratie is een bewerking van een demonstratie uit ZAVO Physics (Walravens, z.j.)



30 ELEKTROMOTORTJE



20 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: magneetveld, stroom, lorentzkracht, elektromotor

Kun je een elektromotor maken van een schroef, een batterij, een magneet en een draadje? Het antwoord is ja en hij loopt als een zonnetje! De verklaring geven is lastiger.

Nodig

Eén 1,5 V batterij (AAA, AA, C, of D werkt allemaal prima); stroomdraad (minimaal 10 cm); schroef van ijzer; neodymium magneet (www.supermagnete.nl)

Voorbereiding

Geen. Laat je de leerlingen ook het motortje maken, dan leg je alles in 15-voud klaar.

Uitvoering

Hang de schroef met magneet onderaan de batterij. Houd één kant van de stroomdraad tegen de pool van de batterij. Houd de andere kant van de stroomdraad tegen de zijkant van de magneet. Magneet en schroef gaan nu razendsnel draaien.

De docent maakt een schematische tekening van de opstelling en stelt daarbij de volgende vragen:

1. *Waar zitten de noord- en zuidpool bij deze magneet?*
2. *Teken het magnetisch veld B op de plaats waar de stroomdraad de magneet raakt,*
3. *Teken de richting van de stroom in de kring in hetzelfde punt.*
4. *Bepaal de richting van de lorentzkracht in dit punt.*
5. *Bedenk twee manieren waarmee je de draairichting van de schroef kunt omdraaien.*



De schroef hangt aan de batterij doordat onderaan een sterke magneet is bevestigd.

Natuurkundige achtergrond

Bij een magneet zitten de polen aan de onder- en bovenkant. In de opstelling van de foto zit de noordpool aan de schroefkop vast. De zuidpool is dus de onderkant.

De veldlijnen gaan van de magnetische noord- naar de magnetische zuidpool

Het magnetisch veld wijst omhoog. Dit zijn de blauwe pijlen in de figuur.

Elektrische stroom gaat van de pluspool van de batterij via schroef, magneet en draad naar de minpool.

Bewegende ladingen in een magnetisch veld B ondervinden een Lorentzkracht.





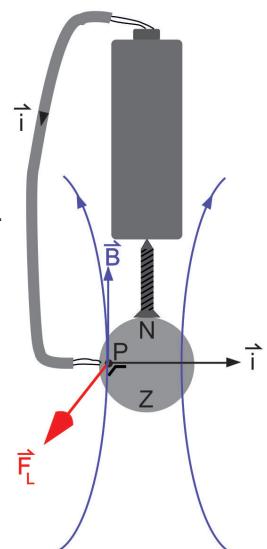
Als we de polen van de batterij omdraaien, of de polen van de magneet omdraaien, zal de F_L 180° draaien en zal de schroef de andere kant op gaan spinnen.

Verder onderzoek

Laat leerlingen als huiswerk op youtube andere ontwerpen bekijken (zoek op 'homopolar motor') en er een uitleg bij geven. Enkele voorbeelden staan op www.nvon.nl/showdefysica.

Veiligheid en milieu

Let op lekkende batterijen. Lever lege of kapotte batterijen in als chemisch afval.



Magneetveld, stroom en
Lorentzkracht in punt P.

Deze proef is geïnspireerd door twee artikelen in *The Physics Teacher* (Chiaverina, 2004 en Kagan, 2005) en door een artikel in *Physics Education* (Yap & MacIsaac, 2006).



31 KNAK-230



5 minuten



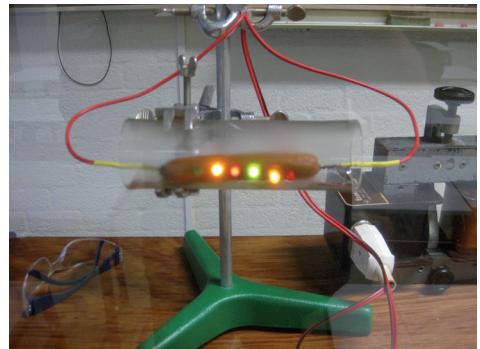
Vanaf klas 3

Begrippen: elektrische geleiding, parallelschakeling

Bekend is dat metalen geleiden. Uit de scheikundelessen weten de leerlingen dat een zoutoplossing ook wel redelijk geleidt. Bij deze demonstratie gaat het vooral om het wow-gevoel als je ziet dat een knakworst ervoor zorgt dat een led brandt. Dit is een demonstratie vanwege het risico: over de worst staat 230 V.



De opstelling zonder leds.



Leds branden op worst.

Nodig

Knakworst; stekkerblok met schakelaar; scheidingstransformator (windingen 500-500); 2 spijkers of 2 stukken dik koperdraad; snoeren met veiligheidsaansluiting/ veilige krokodillenbekjes; statiefmateriaal; een aantal leds (bij voorkeur met verschillende kleuren); een veilheidsscherm.

Voorbereiding

Eerst zelf een keer oefenen. De voorbereiding kost ongeveer een half uur.

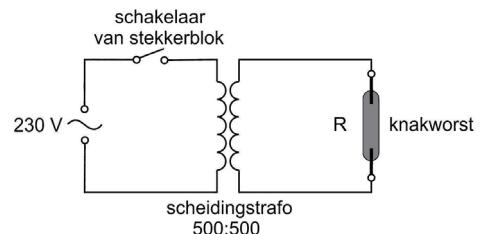
Uitvoering

Hang de knakworst met statiefmateriaal op kijkhoepte en steek een spijker (of stuk dik koperdraad) in elk uiteinde.

Sluit de 230 V via het stekkerblok aan op de (scheidings)trafo. De secundaire kant met veilige snoeren aan de spijkers die in de knakworst steken.

Bij inschakelen van de spanning staat de knakworst dus onder 230 V en gaat meestal een beetje roken en stinken.

Prik de leds in de worst (zie foto) en WOW!



De schakeling.



Natuurkundige achtergrond

De demo laat elektrische geleiding zien, anders dan door een metaal. Over de worst staat 230 V. Een led die je in de worst prikt staat parallel aan een deel van de worst.

Tips

- Zet een schoteltje eronder voor het opvangen van druppels vocht.
- Draag zelf een veiligheidsbril.
- Schakel het brandalarm uit.
- Isoleer de het deel van de spijkers of het koperdraad dat niet in de worst stekt.
- In het donker zie je de worst gloeien en de brandende leds zie je dan ook beter.

Veiligheid en milieu

Zet een veiligheidsscherm aan de kant van de klas voor de veiligheid. Blijf zelf ook achter het scherm.

Voor de veiligheid is het gebruik van een scheidingstransformator nodig.

Laat leerlingen vooral niet aan de opstelling zitten: op de worst staat 230 V en de worst is meestal nat en bevat zout. Gevaarlijk dus! DOE DIT NIET THUIS!

Vinger steeds op de aan-uit-knop van het stekkerblok om het meteen uit te kunnen zetten.

Laat de opstelling niet te lang aanstaan, het stinkt!

Een testdocent heeft de demo uitgevoerd met 4 vwo. In plaats van leds is een gewoon fietslampje gebruikt. De leerlingen moesten een voorspelling te doen: brandt de lamp feller als de draden van de lamp dichter bij de uiteinden van de knakworst (en dus dichter bij de spijkers) zijn geplaatst, of beter als ze dicht bij elkaar zijn geplaatst. Zet eventueel een spanningsmeter parallel aan het lampje.

Een andere testdocent kreeg als reactie van de leerlingen in klas 4 dat ze de demo 100% leuk vinden. Hij is ook leerzaam, vooral door de uitleg achteraf. Leerzaam is ook dat het in het natuurkundeboek vooral gaat over metalen die elektriciteit geleiden, terwijl leerlingen de theorie over ionen bij scheikunde al hebben gehad.



32

CONSTANTE NETTOKRACHT VEROORZAAKT VERSNELDE BEWEGING!



20 minuten (T) of 40 minuten (A)



Klas 4

Begrippen: kracht, resultante, snelheid, versnelling

In het groot met het duwen van een auto of winkelwagen aantonen dat $\Sigma F = m \cdot a$ en NIET $\Sigma F = m \cdot v$. Niet zo maar even het resultaat melden of noteren, maar diep inwrijven! Deze demonstratie is ook geschikt voor een open dag.



Figuur 1. Elke leerling duwt met een constante kracht tegen een personenweegschaal.



Figuur 2. (Gefotografeerd vanaf het beginpunt). Elke 3 seconden wordt een bordje uit de auto gezet.



Figuur 3. (Gefotografeerd vanaf het eindpunt). De bordjes liggen steeds verder uit elkaar, bij constante kracht wordt de afgelegde weg elke seconde groter.

Nodig

Autoversie A: Personenweegschaal (3x); auto; 10 - 12 plastic bordjes; karton om tussen weegschaal en auto te plaatsen om beschadiging te voorkomen.

Toa-karversie T: toa-kar of winkelwagen met kleine leerling erop met de 10-12 plastic bordjes, en een grote forse leerling met een trekveer (40 N) als een paard ervoor.

Voorbereiding

De benodigdheden regelen en toestemming vragen voor een experiment op de gang (winkelwagenversie) of buiten.

Uitvoering

1. Concept-check met de vraag: *Als we een auto duwen met een constante nettokracht dan zal de auto met een constante snelheid bewegen. (WAAR/NIET WAAR).*
2. Korte discussie.
3. Uitleg methode: drie leerlingen duwen de auto met een constante kracht. Eén leerling laat elke 3 seconden een bordje vallen uit de auto (of vanuit de toa-kar). Wat verwacht je over de afstand tussen de bordjes: zal die constant zijn, of toenemen, of afnemen?



4. Drie leerlingen oefenen eerst in het met constante kracht duwen van de auto, de docent stuurt de auto. Dan volgt de experimentele run. Drie leerlingen duwen, een leerling in de auto laat elke drie seconden een bordje vallen (toa-kar: elke seconde). Dat gaat het beste met open deur en loslaten van de bordjes ter hoogte van de autobodem. De andere leerlingen tellen hardop als koor: 1 – 2 – 3, 1 – 2 – 3, etc.
5. Nu kijken we waar de bordjes liggen. Op constante afstand, op ongelijke afstand, of met constant toenemende afstand?
6. Leerlingen verwachten dat de auto een *constante* snelheid bereikt en aanhoudt, maar Newton liet zien dat we bij constante (netto) kracht een *versnelde* beweging hebben. Het experiment geeft spectaculaire resultaten (figuur 3).
7. Niet zo maar even het resultaat noteren, maar diep invrijen. Een constante nettokracht leidt tot een versnelde beweging.

Tips

De demonstratie met de auto kost tijd. Het ongewone naar buiten gaan kan allerlei ruis veroorzaken waarin het resultaat verdrinkt. Een alternatief is een toa-kar te gebruiken met *of* een leerling erop met die bordjes, *of* enkele kratjes/stenen ter verzwaring en een lange rij leerlingen op de gang die precies markeren op welk punt de kar is op tijdstippen 0 s, 1 s, 2s, 3s, etc. Ook met het toa-karretje moet de steeds grotere afgelegde afstand goed zichtbaar worden. Het ‘trekpaard’ zal wel even moeten oefenen in het uitoefenen van een constante trekkracht op de kar.

Met de kar kan nog veel meer, mits verzuwd. Je kunt kwalitatief goed zien en voelen dat de kar de neiging heeft rechtdoor te gaan en dat je een forse kracht moet uitoefenen om de richting te veranderen.

Schrijf altijd $\Sigma F = ma$ of $F_{\text{netto}} = ma$, of $F_{\text{resultante}} = ma$ en NOOIT $F = ma$ om te benadrukken dat Newton’s tweede wet alleen maar geldt voor de som van alle krachten op een voorwerp en niet voor een willekeurige kracht.

Bij een lang duwtraject, zal de snelheid van de auto uiteindelijk constant worden doordat de leerlingen niet harder kunnen lopen, *maar* ze zien dan ook dat hun kracht op de weegschaal afgangen is.

De wrijvingskrachten op de auto nemen toe bij grotere snelheid. Bij constante duwkracht bereikt de auto uiteindelijk een constante snelheid wanneer duwkracht en de som van wrijvingskrachten gelijk zijn. Als men drie leerlingen fors laat duwen tegen een gewone personenauto, dan ligt die eindsnelheid gelukkig boven de loopsnelheid van leerlingen.

Je zou metingen kunnen doen van de krachten en van de afstanden van de bordjes en daarmee leerlingen een grafiek kunnen laten maken, maar het belang van de demonstratie is vooral het onderscheid maken tussen het incorrecte denkbeeld $\Sigma F = mv$ en het correcte beeld $\Sigma F = ma$ en tegelijkertijd laten zien dat natuurkunde spectaculair is en gaat over onze dagelijkse omgeving.

Veiligheid, milieu

Let op de verkeersveiligheid!

Deze demo is eerder gepubliceerd in NVOX met als titel ‘Is $\Sigma F = m \cdot a$ in de Filippijnen?’ (Van den Berg, 1996). De foto’s zijn gemaakt in de Filippijnen.



33 LANCEREN VAN EEN TENNISBAL



Energie en impulsoverdracht bij vallende ballen



5 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: impuls, impulsbehoud, energiebehoud

Een basketbal en tennisbal stuiteren afzonderlijk tot ongeveer 2/3 van de oorspronkelijke hoogte. Als ze samen vallen, de tennisbal bovenop de basketbal (figuur 1), dan vliegt de tennisbal de hemel in en komt de basketbal nauwelijks meer van de grond. Dit is een prachtig voorbeeld van energie- en impulsoverdracht. Elke leerling in de bovenbouw moet dit een keer gezien hebben. De demonstratie is ook geschikt voor open dagen en andere 'events'.

Nodig

Tennisbal of andere kleine bal, basketbal of elke andere grotere bal; eventueel meetlat of rolmaat.

Voorbereiding

Ballen verzamelen en even oefenen.

Uitvoering

1. Laat een basketbal vallen van ongeveer één meter hoogte en markeer met je hand hoe hoog de basketbal terugstuiter.
2. Laat de tennisbal van de dezelfde hoogte vallen en wijs de hoogte van terugstuiteren aan.
3. Leg de tennisbal op de basketbal en laat ze samenvallen van ongeveer één meter. Tot verrassing van velen zal de tennisbal tegen het plafond komen (let op tl-buizen en de beamer).
4. Vraag leerlingen een verklaring te schrijven of daarover in tweetallen te overleggen. Als ze er niet uitkomen, geef ze dan de tip om te denken aan energie en impuls.
5. *Wanneer de ballen samen vallen, dan stuiter de tennisbal hoger dan eerst. Wat zou je dan voor de stuiterhoogte van de basketbal voorspellen?*
6. Experiment herhalen en letten op de stuiterhoogte van de basketbal. (De basketbal stuiter veel lager dan bij 1).
7. Laat leerlingen individueel of in duo's de energieomzettingen op diverse punten in het valtraject beschrijven.
8. Klopt het resultaat met de uitleg van 4?
9. Geef de volledige uitleg en zet deze op het bord.
10. Geef eventueel een rekenopdracht om de maximale hoogte van de tennisbal te bepalen (zie tips). Laat ze eerst zelf bedenken hoe je dat zou kunnen doen.



Mario Juanillo laat een tennisbal en een basketbal vallen.

Natuurkundige achtergrond

Bij het terugstuiteren verdeelt de energie zich over basketbal en tennisbal. De basketbal





krijgt minder energie ten opzicht van de situatie waarbij de basketbal alleen valt (de basketbal stuiteren een stuk minder hoog dan wanneer de bal valt zonder tennisbal erop). De tennisbal krijgt veel meer energie (de totale energie blijft behouden). Het mechanisme voor de overdracht van energie is de vering van de basketbal.

Tips

- Het proces kan (van te voren) met een hoge-snelheidscamera worden gefilmd. Met deze beelden kun je precies de interacties tussen vloer en basketbal en tennisbal en basketbal zien.
- Uit de vergelijking van terugstuiteren van basketbal alleen en van de basketbal met tennisbal is te berekenen hoeveel extra energie de tennisbal krijgt. Daaruit is dan de maximale hoogte van de tennisbal te berekenen. Een voorbeeld staat op www.nvon.nl/showdefphysica.
- Deze demonstratie is mooi te combineren met een demo of les over Newton's 'cradle' (proef 35)
- Een mogelijke voortzetting kan een ontwerpproject zijn om een apparaat te maken voor de zo hoog mogelijke lancering van een object met gebruik van dit stuiterprincipe. Daarin kunnen leerlingen onderzoeken welke factoren een rol spelen, zoals bijvoorbeeld de luchtdruk in de basketbal.

Veiligheid en milieu

Verken het plafond en zorg ervoor dat de bal niet tegen een tl-buis of beamer kan komen.

Zie ook <http://phun.physics.virginia.edu/demos/double.html> voor een voorbeeld van een berekening. Met de zoektermen 'botsing' en 'wikipedia' vind je een goed overzicht met animaties van een elastische en volkomen inelastische botsingen.





34 SCHUIVENDE LAT



Bepaling van het zwaartepunt



20 minuten

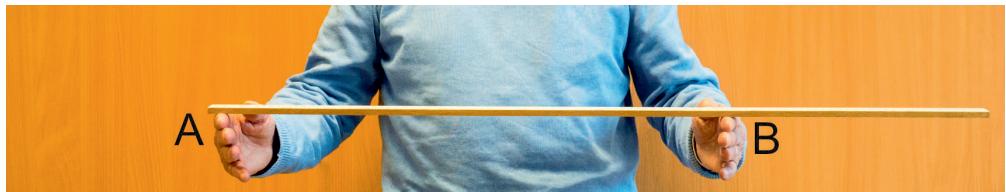


Klas 4

Begrippen: zwaartepunt, statische en dynamische wrijving

Je legt een lat, een bezemsteel, een hamer of een ander lang voorwerp op je twee wijsvingers. Schuif je vingers langzaam naar elkaar toe. Je verwacht dat de lat van je vingers valt. Maar als je twee vingers tegen elkaar gekomen zijn, ligt het voorwerp nog steeds op je vingers. Het zwaartepunt ligt precies boven die vingers.

Doe het voor en iedereen wil het nadoen.



Een lat ligt op een vinger van elke hand.



Schuif de vingers naar elkaar toe. Het zwaartepunt ligt precies boven de vingers.

Nodig

Een meetlat.

Voorbereiding

Geen.

Uitvoering

Neem een lat, bij voorkeur een meetlat met een duidelijke schaalverdeling en een duidelijk aanwijsbaar midden.

Leg de lat op de twee wijsvingers van je uitgestoken handen. Het is niet nodig dat de lat symmetrisch wordt neergelegd. Zie de bovenste foto.

Beweeg de twee handen voorzichtig tegelijkertijd naar het midden. Zorg ervoor dat de beweging onafhankelijk van de beweging van de lat is. Dus de handen komen in het midden terecht. Je zult merken dat de lat op de vingers blijft liggen en dat het midden van de lat precies in het midden tussen de twee handen komt te liggen. Zie de onderste foto.

Wanneer je het experiment uitvoert, dan heeft de toeschouwer het idee dat je je handen





niet gelijktijdig naar het midden beweegt. Dat komt omdat de lat steeds naar links en naar rechts schuift.

Natuurkundige achtergrond

De lat ondervindt van beide vingers een normaalkracht. De vinger die het dichtst bij het midden van de lat is (op de foto is dat vinger B) oefent de grootste normaalkracht uit. Dus de grootste statische wrijving als de vingers op het punt staan te bewegen. De lat gaat over vinger A glijden. Maar tijdens dat glijden is er dynamische wrijving. Die is kleiner dan de statische wrijving bij dezelfde normaalkracht. Dus als vinger A even ver van het zwaartepunt is als vinger B, dan blijft de lat nog steeds over vinger A glijden. Even verder is A zo dicht bij het zwaartepunt dat de wrijvingskracht bij A toch groter wordt dan die bij B. Enzovoorts.

Tips

Om zo goed mogelijk te laten zien dat je handen wel tegelijkertijd naar het midden beweegt, is het nuttig om eerst zonder de lat de beweging van je handen te demonstreren. Dus je spreidt je armen en beweegt vervolgens je handen naar elkaar toe, zodat ze midden voor je bij elkaar komen.

Nog sprekender is het om het met de ogen dicht te doen. Of geblinddoekt.

De duidelijkste manier van doen krijg je als je een aanwijspaaltje voor je zet, waar je handen symmetrisch naar toe bewegen.

Verder onderzoek

Gebruik een niet-homogene lat. Daarvan bepaal je eerst het zwaartepunt. Met deze demonstratie is dan de plaats van het zwaartepunt te controleren. De vingers komen immers bij elkaar onder het zwaartepunt.



35 NEWTON'S CRADLE, VIJF SLINGERS



Wet van behoud van impuls



10 minuten



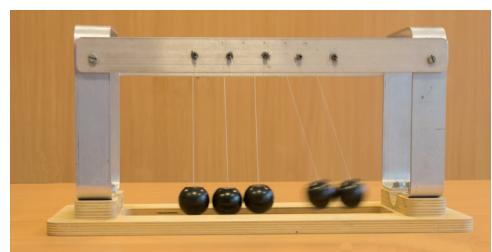
Klas 4

Begrippen: kracht, botsing, impulsbehoud, energiebehoud

Vijf kogeltjes hangen als slingers naast elkaar. De slingertijd van de slingers is even groot. Je kunt de kogeltjes op verschillende manieren tegen elkaar laten botsen. Voordat je een botsing laat plaatsvinden laat je de toeschouwer voorspellen wat er gebeurt. Omdat een en ander systematisch moet worden uitgevoerd is het aan te bevelen om dit experiment als demonstratie uit te voeren. Bovendien is het apparaat kwetsbaar, er moet voorzichtig mee worden omgesprongen.



Twee kogeltjes vóór de botsing.



Twee kogeltjes vliegen weg ná de botsing.

Nodig

Toestel met vijf of meer gelijke kogeltjes die precies tegen elkaar hangen. In de handel te verkrijgen. Zelf bouwen ervan vereist een grote mate van vakmanschap.

Voorbereiding

Geen.

Uitvoering

Figuur 1 laat de beginsituatie zien.

Figuur 2a stelt voor dat kogeltje a een uitwijking krijgt, losgelaten wordt en tegen b aankomt met een bepaalde snelheid.

Vraag en discussie: *Wat zal er gebeuren met de vier stil hangende kogeltjes?*

Figuur 2b toont wat er gebeurt. Het blijkt dat alleen e zichtbaar gaat bewegen.

Kogeltje e valt weer terug, botst en het resultaat is dat a weer naar links vliegt en een uitwijking krijgt, ongeveer zo groot als zijn beginuitwijking was.

Figuur 3a stelt voor dat twee kogeltjes een uitwijking krijgen, losgelaten worden en met een snelheid tegen de c aan komen.

Vraag en discussie: *Wat gaat er gebeuren bij de botsing?*

Figuur 3b geeft weer wat het resultaat zal zijn.

De figuren 4 en 5 geven tamelijk voor de hand liggende varianten.





In figuur 6 staat getekend dat je begint met een uitwijking voor a en e. Het resultaat is dat na afloop dezelfde kogels die stil hingen stil blijven hangen en dat a en e de andere kant uit vliegen.

De figuren 7 en 8 zijn daarvan weer voor de handliggende varianten.

Figuur 9 is minder voor de handliggend. De snelheid van a is groter dan die van e. Na afloop is die van e groter dan die van a.

Opmerking. De grotere snelheid van a bereik je door a een grotere beginuitwijking te geven. Overigens komen a en e wel tegelijkertijd aan bij de stil hangende kogels. Want de slingertijd is onafhankelijk van de amplitude.

Natuurkundige achtergrond

Wanneer twee gelijke massa's tegen elkaar botsen nemen ze elkaar's snelheid over. De snelheid waarmee een kogeltje door zijn evenwichtsstand gaat bepaalt de uitwijking van het kogeltje.

Hoe de impuls wordt overgedragen van de ene kogel naar de andere, dat verdient nog enige aandacht.

In de figuur hiernaast is een en ander uitgebeeld voor een mogelijke gang van zaken van het proces dat in figuur 3a en 3b is weergegeven.

Dus kogel b geeft impuls door aan kogel c.

Daarna a aan b. Enzovoorts.

Waarom stond hierboven: een mogelijke gang van zaken?

Voor het proces in figuur 8 a en b ligt het allemaal een beetje ingewikkelder.

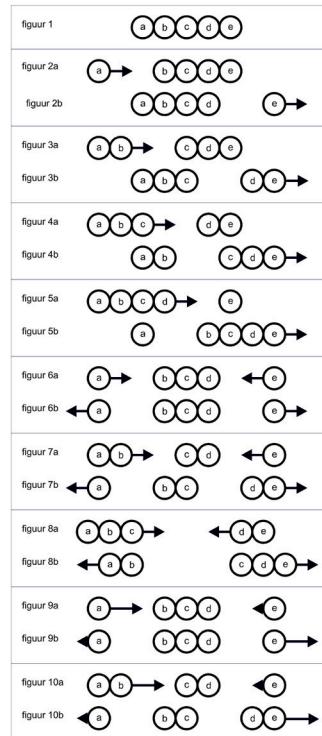
Tips

Je kunt natuurlijk enkele kogels even verwijderen door ze over de ophangbalkjes te hangen. Zo kun je de demonstratie met twee kogels beginnen.

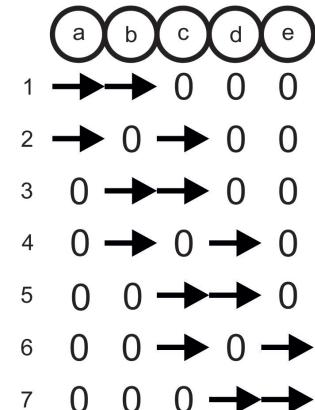
Om goed te demonstreren dat er kogels stil blijven hangen bij het hele proces is het illustratief om kogels die een maximale uitwijking hebben gekregen na de botsing op te vangen zodat ze niet meer terug kunnen vallen.

Verder onderzoek

Zie demonstratie 24: Kanon van Gauss.



Je kunt de kogeltjes op verschillende manieren laten botsen.



Een mogelijke manier van doorgeven van de impuls.



36 KANTELEND LUCIFERDOOSJE



10 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: kracht, zwaartepunt, evenwicht

Met een luciferdoosje is een treffende demonstratie te geven van beweging ten gevolge van de plaats van het zwaartepunt van een voorwerp. De tekeningen met de banen van het zwaartepunt maken het effect in één oogopslag duidelijk.

Nodig

Luciferdoosje.

Voorbereiding

Geen.

Uitvoering

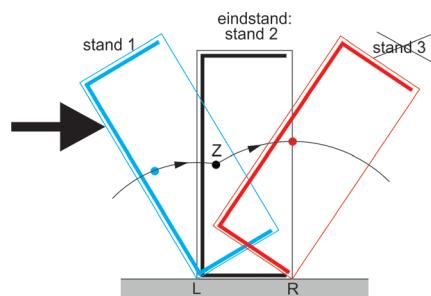
Ga voor de klas aan tafel zitten. Jij vanaf de leerlingen gezien aan de linkerkant van de tafel, een leerling aan de rechterkant van de tafel.



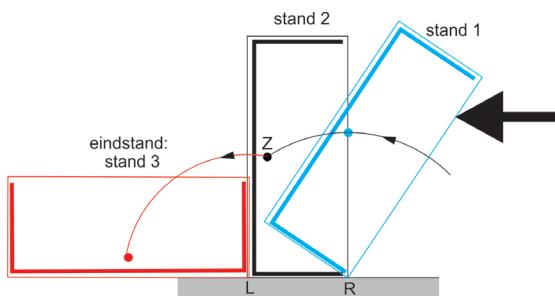
Zie de linkerfiguur. Zet een luciferdoosje

scheef tegen een vinger van je hand. Beweeg de vinger voorzichtig naar rechts zodat het doosje rechtop komt te staan. (Zou je het vlug doen, dan vliegt het doosje verder en valt.)

Zie de rechterfiguur. Vraag nu de leerling om zijn vinger gereed te houden en plaats het doosje scheef tegen zijn vinger. Vraag nu om het doosje voorzichtig rechtop te zetten. Hoe langzaam hij het ook doet, het doosje valt verder. Nog eens en nog eens.



Het luciferdoosje blijkt staan



Het doosje kantelt

Natuurkundige achtergrond

In de figuren is het zwaartepunt Z van het doosje aangegeven met een gekleurde stip. Het zwaartepunt ligt niet in het midden van het doosje, maar dichter bij de bodem van het doosje.





Linkerfiguur. De baan van het zwaartepunt is bij het rechtopzetten een stuk cirkelboog met straal LZ. Zou het doosje verder kantelen dan wordt de baan een stuk van een cirkel met een grotere straal, RZ. Er is enige kinetische energie nodig om van de verticale stand verder te komen tot in de roodgekleurde stand. Dus als je rustig aan doet, is die energie niet aanwezig.

Rechterfiguur. De baan van het zwaartepunt heeft nu bij het rechtopzetten de grote straal RZ. Zo gauw het zwaartepunt de blauwe stand heeft, valt het doosje verder en heeft nu zeker genoeg kinetische energie om het tweede stuk van de baan te doorlopen. Het valt zeker.

Tips

Gebruik een groot luciferdoosje.

Een ander experiment waarbij je over een luciferdoosje een winnende weddenschap kunt afsluiten is het volgende. Ook nu geeft Natuurkunde de verklaring. Laat een luciferdoosje rechtstandig vallen vanaf een hoogte van ongeveer 10 cm. Het valt steeds om. Je kunt nu wedden met je leerlingen: als ik hem laat vallen blijft hij staan. Steeds als de leerling het probeert valt het doosje om. Doe je het zelf dan blijft hij staan.
De truc: schuif het binnendoosje iets naar boven voor je het laat vallen. Nu wordt de botsing inelastisch. Het doosje stuitert niet meer omhoog en blijft staan.



37 TWEE VEREN, SERIE OF PARALLEL?



20 minuten



Vanaf klas 4

Begrippen: uitrekking, veerconstante, serie, parallel

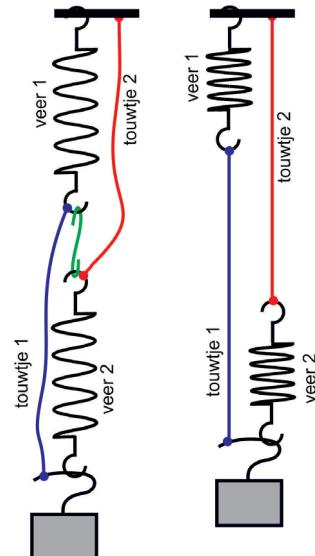
Een blokje is aan een setje van twee veren gehangen. Zie de linker helft van de tekening. De veren zijn verbonden door een metalen haakje. Naast (of door) de veren hangen twee touwtjes. De touwtjes hangen slap.

Wat gebeurt er als je het metalen haakje tussen de veren met een ferme knip met een tangetje doorknipt?

Nodig

Twee slappe veren met een onbelaste lengte van minstens 12 cm. De veren moeten slap zijn, want ze moeten bij de gegeven belasting een flinke uitrekking krijgen.

Statische materiaal; een blokje van ruim 100 gram; (gekleurde) touwtjes; paperclip in de vorm van een haakje gevouwen.



Voorbereiding

De opstelling eist een zorgvuldige voorbereiding. De touwtjes moeten in de beginopstelling slap hangen, maar moeten toch zo kort mogelijk zijn. Bekijk desgewenst de foto's op www.nvon.nl/showdefysica.

Uitvoering

Toon en bespreek de opstelling uitvoerig, aanvankelijk is het onoverzichtelijk.

Toon zo nodig ook de linkerhelft van de tekening.

De vraagstelling is: Wat gebeurt er met het blokje als het haakje met een tangetje wordt doorgeknipt?

- Het blokje blijft op zijn plaats.
- Het blokje komt lager te hangen.
- Het blokje valt op de grond.
- Het blokje komt hoger te hangen

Twee veren met
een haakje
verbonden.
Haakje tussen
de veren
doorgeknipt.

Natuurkundige achtergrond

In de begintoestand zijn de veren serie geschakeld. Als de veerconstante van één veer C is, dan is de veerconstante van de seriegeschakelde veren $\frac{1}{2}C$. Door het blokje is er bijvoorbeeld een uitrekking van 20 cm.

In de eindtoestand zijn de veren parallel geschakeld. De veerconstante is nu $2C$. Dus vier keer zo groot. De totale uitrekking van elke veer is nu 5 cm. Het blokje komt nu dus 15 cm hoger te hangen.

Overigens niet precies 15 cm, want de touwtjes waren aanvankelijk niet gespannen.





Tips

- Maak setjes van een viertal gekleurde kaarten. Bijvoorbeeld een groene kaart met de letter A, een oranje kaart met de letter B, een rode kaart met de letter C en een witte kaart met de letter D. Als elke leerling zo'n setje heeft, dan kan na de discussie zichtbaar gemaakt worden wat een leerling als antwoord kiest.
- Laat het blokje in de beginstand even trillen door het een kleine uitwijking te geven en los te laten. Wat is er op te merken over de trillingstijd in de eindtoestand? De veerconstante is vier keer zo groot geworden.

Maarten van Woerkom deed de demonstratie een keer op zijn werk tijdens een receptie bij het afscheid van een technicus. Het ging uitstekend. Bijna niemand voorspelde goed wat er ging gebeuren. Na afloop kwamen er diverse mensen over discussiëren. Eén persoon zei: zoiets moet op elke receptie gebeuren! Maarten voelde zich beloond voor het eindeloos uitproberen.





38 VALLENDE VEER



15 minuten



Klas 5

Begrippen: kracht, valversnelling

Iedereen is vertrouwd met de valbeweging van een voorwerp. Als je een voorwerp laat vallen dan ondergaan alle delen van het voorwerp eenzelfde beweging. Dan gaat het over zogenaamde starre voorwerpen. Maar hoe zit het met een voorwerp waarbij de onderdelen ten opzichte van elkaar kunnen bewegen? Een zogenoemde large slinky, in de speelgoedwinkel te koop, toont een onverwacht effect.

Nodig

Een large slinky en een camera.

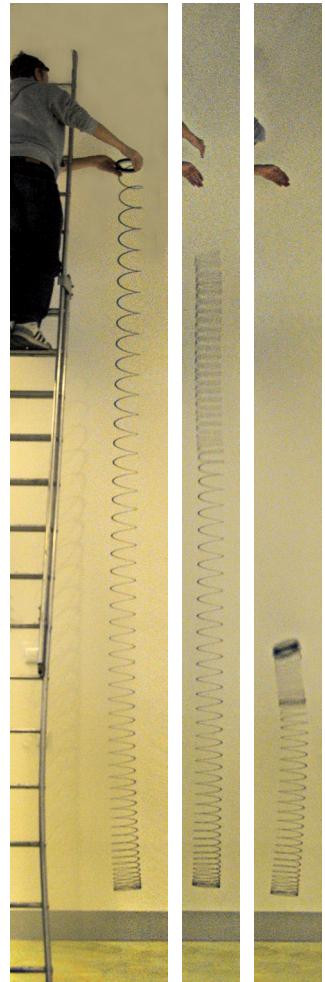
Voorbereiding

Zorg voor een achtergrond waar tegen de large slinky duidelijk is te onderscheiden. Bijvoorbeeld een witte muur. Zet een horizontale streep op de achtergrond bij de onderkant van de slinky.

Uitvoering

Houd een large slinky aan één kant vast en laat hem naar beneden hangen. Wacht totdat hij stil hangt. Laat het onderste uiteinde samenvallen met de streep op de muur. Laat de veer vooral nog niet vallen. Vraag om te voorspellen wat er met de onderkant van de veer gebeurt als je hem loslaat. De discussie zal een aantal elementen kunnen bevatten. In de bovenbouw zal de valversnelling ter sprake komen. De veer zal samentrekken. Dan zal niet elk van de onderdelen van de veer meteen dezelfde versnelling ondergaan.

- Zal dat samentrekken gebeuren doordat de bovenkant sneller valt?
- Of doordat de onderkant eerst naar boven gaat?
- Enzovoorts.



Je laat de slinky vallen.





Na de discussie kun je de volgende vier mogelijkheden aanbieden.

Na het loslaten van de veer zal:

- a. De onderkant van de veer meteen ook naar beneden vallen.
- b. De onderkant van de veer zal even op zijn plaats blijven (hoe lang dan?).
- c. De onderkant van de veer zal eerst een eindje naar boven gaan.
- d. Een andere mening.

Nadat iedereen zijn keuze bepaald heeft laat je de veer vallen.

Waarschuw wel dat het razendsnel gaat en het resultaat moeilijk is waar te nemen.

Het gaat zo vlug dat niet iedereen meteen overtuigd is. Dus een paar keer herhalen.

Maak van te voren of naderhand met de hele groep een filmpje van de val. Met behulp van het filmpje is heel overtuigend te zien wat er gebeurt.

Het antwoord blijkt B te zijn: de onderkant van de veer zal even op zijn plaats blijven. Er zijn weinigen, leerlingen, fysici of technici die voor B kiezen.

Natuurkundige achtergrond

Het niet-starre lichaam gedraagt zich heel anders dan het starre lichaam. De vorm is veranderd: windingen onderaan de veer hebben een veel kleinere onderlinge afstand dan de windingen bovenaan. De bovenste winding is nummer 1. De volgende is nummer 2. De een na onderste is N-1, de onderste is N.

Zo lang de afstand tussen N-1 en N niet verandert blijft N op zijn plaats.

Na loslaten zal het even duren voordat deze afstand kleiner wordt.

Maar na loslaten ondervindt 1 twee krachten naar beneden: zijn eigen zwaartekracht en een kracht van 2. Dus zal 1 een grotere versnelling ondergaan dan g.

Tips

Maak setjes van een viertal gekleurde kaarten. Bijvoorbeeld een groene kaart met de letter A, een oranje kaart met de letter B, een rode kaart met de letter C en een witte kaart met de letter D. Als elke leerling zo'n setje heeft, dan kan na het resultaat van de discussie zichtbaar gemaakt worden wat een leerling als antwoord kiest.

Je kunt nog een foto maken van de klas als iedereen zijn kaart omhoog gestoken heeft.

Hubert Biezeveld (die bij de demonstratie zelf een andere keuze had gemaakt) is daarna gaan meten en analyseren aan de vallende slinky. Hij schreef daarover een artikel in NVOX (Biezeveld, 2009).



39 STAPELEN



20 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: zwaartepunt, stabiel evenwicht

Als je twee blokken op elkaar legt, dan blijft het bovenste liggen als zijn zwaartepunt boven het onderste blok blijft. Het bovenste blok kan dus maar een halve bloklengte uitsteken.

Kun je zo stapelen dat het bovenste blok verder uitsteekt?

Nodig

Aantal gelijke balkjes.

Voorbereiding

Geen

Uitvoering

Stapel een aantal blokken op elkaar met de volgende opdracht: op welke manier kun je er voor zorgen dat de voorkant van het bovenste blok zo ver mogelijk uitsteekt? Dus hoe bereik je de grootste afstand tussen de voorkant van het bovenste blok en de voorkant van het onderste blok? Je mag zoveel blokken gebruiken als je wilt.

Is het mogelijk om de achterkant van het bovenste blok voorbij de voorkant van het onderste blok te laten komen?

Voorbeeld 1.

Meestal worden de blokken een voor een op elkaar gestapeld.

Zie de vier blokken in figuur 2. Eerst het groene blok 1, dan het oranje blok 2 dat 1/3 bloklengte oversteekt, vervolgens oranje blok 3 dat ook 1/3 bloklengte oversteekt.

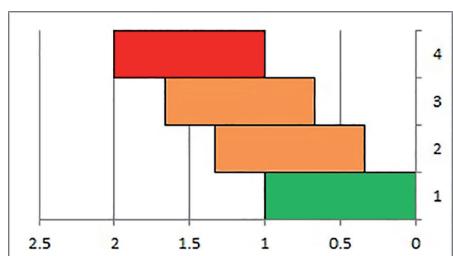
Het zwaartepunt van de oranje blokken samen ligt nu precies boven de voorkant van het groene blok. Dus als je nu nog een overstekend blok plaatst, bijvoorbeeld het rode blok, dan valt de stapel om.

Je kunt ook omgekeerd stapelen. Zie figuur 3.

Leg blok 1 op blok 2. Leg dan blokken 1 en 2 samen op blok 3. Enzovoorts.



Figuur 1. Hoe kun je een zo scheef mogelijke toren bouwen die niet omvalt?



Figuur 2. Blokken stapelen.

Natuurkundige achtergrond

Wanneer je de omgekeerde stapelmethode gebruikt, dan kom je vrij vlug aan een





oversteek die groter is dan de bloklengte:

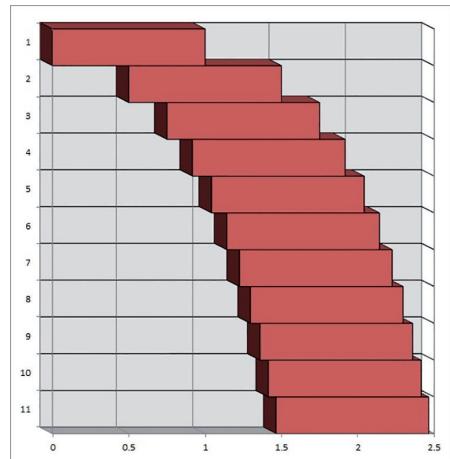
- zwaartepunt van blok 1 boven de voorkant van blok 2;
- zwaartepunt van blokken 1 en 2 samen boven de voorkant van blok 3;
- zwaartepunt van blokken 1, 2 en 3 boven de voorkant van blok 4.

Dat geheel boven blok 5 en de oversteek is al groter dan een bloklengte.

Tips

- In plaats van blokken hout kun je ook CD-doosjes of grote legoblokken gebruiken.
- Als je googelt met als zoekterm *Markthal Rotterdam*, dan kom je foto's van het gebouw en zie je dat de verdiepingen zijn gestapeld op een manier die je nu begrijpt.

Tester Eline Bijker begon haar les met een foto van de markthal en vroeg de leerlingen welk constructieprincipe hier is gebruikt. Haar lesbeschrijving staat op www.nvon.nl/showdefysica.



Figuur 3. Omgekeerd stapelen.



40

SCHOMMELEN TOT JE EEN ONS WEEGT



Gewicht en massa leren onderscheiden in de speeltuin



15 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: massa, gewicht, slingerbeweging, krachten

We zeggen vaak 'gewicht' als we 'massa' bedoelen. Natuurkundig gezien is 'gewicht' de kracht waarmee een voorwerp op zijn ondersteuning drukt, of daar aan trekt. Leerlingen onderscheiden massa en gewicht pas als ze daar een goede reden voor hebben. De ervaring van schommelen kan ze die reden geven.

Nodig

Gebruik je een echte schommel dan is verder een badkamerweegschaal nodig, eventueel aangevuld met een mini-camera en laptop.

Zie www.nvon.nl/showdefysica voor een alternatief: de minischommel.



Op de schommel verandert wel je gewicht, niet je massa.

Voorbereiding

Hang een schommel op in je lokaal of neem de klas mee naar een speeltuin. Gebruik eventueel de laptop met mini-camera voor een live registratie.

Leerlingen weten al hoe je de zwaartekracht berekent die de aarde op een voorwerp uitoefent: $F_z = m \cdot g$. Ze weten dat m de massa is, een maat voor de hoeveelheid materie in het voorwerp.

Uitvoering

1. Oriëntatie

Bespreek: met de woorden 'massa' en 'gewicht' wordt in de natuurkunde niet hetzelfde bedoeld. Maar wat is dan het verschil, precies? De proef is bedoeld om een helder antwoord op die vraag te krijgen. De website geeft suggesties voor meer oriëntatievragen.

2. Afspraken (theorie)

Een natuurkundig begrip krijgt pas betekenis als je afspreekt hoe het moet worden gemeten. Je mag afspreken wat je wilt, als iedereen zich maar aan die afspraak houdt. Het is dus belangrijk dat de klas instemt met de volgende afspraken:

- I. De *massa m* van een voorwerp is de hoeveelheid stof (materie) van het voorwerp. Om de massa te veranderen moet je er materie bij doen of af halen. Massa kun je bijvoorbeeld meten met behulp van een balans, waarmee je de grootte van twee massa's kunt vergelijken.
- II. Het *gewicht G* van een voorwerp is de waarde die door een weegschaal wordt aangegeven als je het voorwerp erop zet. Een weegschaal is bijvoorbeeld een





veerunster of badkamerweegschaal. Dus wat de weegschaal ook aanwijst: dát is het gewicht.

Gewicht is een kracht. Die moet je dus meten in N (newton). Gewone badkamerweegschalen meten het gewicht echter in een andere eenheid. Om het gewicht G daarmee toch te bepalen neem je: $G = 9,81 \times \text{aflezing}$. In deze proef leer je dat *dit* altijd klopt, maar dat de aflezing *soms* niet gelijk is aan m .

3. Uitvoering en resultaten

Een leerling gaat op de weegschaal, op de schommel zitten. Meet het gewicht van de leerling.

Laat de proefpersoon schommelen, tegelijkertijd de weegschaal aflezen en de grootste en kleinste waarden rapporteren. Met een webcam kun je de metingen opslaan en kan de hele klas meehelpen.

4. Conclusies

De meetwaarden zelf zijn minder interessant dan het patroon dat ze laten zien.

Conclusies:

- Bij schommelen voel je jezelf lichter worden op het hoogste punt, en zwaarder op het laagste punt. Wat je dan voelt is de verandering in je gewicht. Je massa verandert niet.
- Je gewicht meet je met een weegschaal, je massa met een balans. Als de ondergrond met constante snelheid beweegt levert dat hetzelfde getal op. (Bij de meeste weegschenalen is al gedeeld door 9,81 in de aflezing, zodat je niet om hoeft te rekenen.)
- Je bent gewichtloos zodra je ergens afspringt. Gewichtloosheid begint op het moment dat er geen ondersteuning meer is: op de duikplank dus ook al tijdens de beweging omhoog!

Natuurkundige achtergrond

Ook al lees je een weegschaal af in ‘kg’, toch meet hij het gewicht. Pas als de weegschaal gebruikt wordt in een systeem dat ten opzicht van de aarde eenparig beweegt meet hij ook de massa (in kg). Wie dit inziet heeft de proef begrepen.

Verder onderzoek

Uitbreidingen naar gewichtonderzoek in vervoermiddelen en pretparken ligt voor de hand. Of gewoon met een badkamerweegschaal de lift in.

Tips

Gebruik geen zogenoemde ‘parallelogramschommel’ (met vier in plaats van twee ophangpunten), want op het horizontaal blijvende zitgedeelte gaat de zaak schuiven. Gebruik een mechanische weegschaal, elektronische apparatuur is te traag.

Veiligheid en milieu

Een schommel in de klas moet uit stevige, veilig opgehangen materialen bestaan. Houd de ruimte vrij waarbinnen de schommel beweegt, beperk de maximale uitwijking en hoogte.



41 EERSTE WET VAN NEWTON



Gewicht en massa leren onderscheiden in de speeltuin



15-45 minuten

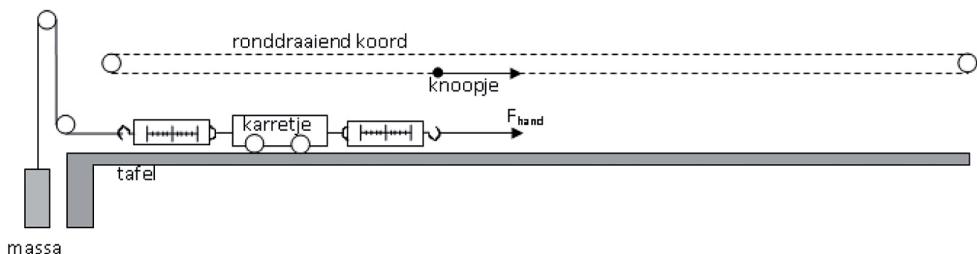


Klas 4

Begrippen: kracht, snelheid, versnelling, eerste wet van Newton

In deze demonstratie van Newton's eerste wet kun je het waarnemen en denken van de leerlingen op details richten die in een leerling-experiment gemakkelijk over het hoofd worden gezien. Door de leerlingen tijdig uit te dagen om hun denkbeelden te verwoorden, vergelijken en toetsen kun je als de docent de begripsvorming controleren en vormgeven.

De wrijving is bij deze demonstratie niet klein, maar wel verwaarloosbaar.



Figuur 1. Het karretje beweegt met het knoopje mee. Vergelijk de krachten.

Nodig

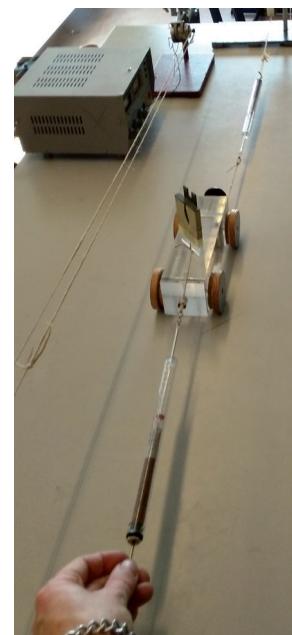
Zo lang mogelijke, vlakke tafel. Zo hoog mogelijk statief met klemmen; twee katrollen; hanger met massa's; koord; twee veerunstomers. Voeding en elektromotortje; twee statieven met klemmen en een katrol; koord.

Voorbereiding

Bouw de opstelling, zie figuur 1. Je trekt het karretje met de hand voort naar rechts. Een massa, met koord en katrollen aan het karretje verbonden, zorgt voor een tegenwerkende kracht. De tafel is zo lang mogelijk, de bovenste katrol is zo hoog mogelijk geplaatst. Een elektromotor (niet getoond) drijft het ronddraaiend koord aan. Kies massa's en veerunstomers zo, dat de wrijving verwaarloosbaar blijft bij snelheden tot ruwweg 1 m/s.

Uitvoering

Het koord draait eenparig rond, een knoopje in het koord beweegt dus met constante snelheid. Gaat je hand met het knoopje mee dan heeft die hand óók die constante snelheid, evenals het karretje. Het karretje moet even op gang komen, maar dan kunnen de veerunstomers worden afgelezen.
Hoe groot is dan de trekkracht vergeleken met de tegenwerkende kracht? En wat



Figuur 2. De opstelling.





verandert er als we een grotere constante snelheid kiezen? Doel van de proef is het beantwoorden van deze vragen.

De Predict-Observe-Explain aanpak is hier zeer geschikt. Een voorbeeld is uitgewerkt in het werkblad op www.nvon.nl/showdefysica. Vooraf voorspellen de leerlingen schriftelijk wat ze denken dat er zal worden gemeten, in antwoord op bovenstaande vragen.

Dan wordt de proef uitgevoerd. Een grotere snelheid wordt gerealiseerd door de spanning over het motortje iets te vergroten. Uit de waarnemingen wordt een conclusie getrokken en in soortgelijke situaties toegepast.

Natuurkundige achtergrond

Als een voorwerp met constante snelheid beweegt zijn de daarop werkende trekkraft en tegenwerkende kracht gelijk, ongeacht de grootte van die snelheid. Bovendien heb je, als de wrijving te verwaarlozen is, voor het aanhouden van een grotere snelheid geen grotere kracht nodig; trekkraft en tegenwerkende kracht hoeven alleen even groot te zijn. Het ultieme voorbeeld is een ruimteschip: eenmaal op snelheid dan kan de raketmotor worden afgezet. Soms wordt beweerd dat de geldigheid van Newton's eerste wet alleen kan worden nagegaan in zulke ideale, wrijvingsloze situaties. Maar hier blijkt dat de nettokracht altijd nul is bij constante snelheid, ook in alledaagse situaties.

Tips

Soms bestaat de neiging het ronddraaiend koord weg te laten, maar hoe weet je dan dat de snelheid constant is?

Het motortje kun je direct aan het karretje koppelen, maar er zit voor leerlingen meer waarde in het zelf voelen dat voor een grotere snelheid geen grotere kracht nodig is. Trekkraft en tegenwerkende kracht moeten op gelijke hoogte op het karretje werken, anders ontstaat een koppel dat de metingen kan verstören.

Als bij het testen blijkt dat de trekkraft meetbaar groter is dan de tegenwerkende kracht ligt misschien het koord waaraan de massa hangt naast een katrol. Zo niet, vergroot dan die massa. Zo'n 300 g is normaliter genoeg om wrijving verwaarloosbaar te maken.

Het valt niet mee om de snelheid constant te houden, oefen dit van tevoren.

In een probeerversie van de proef werd ook de rustsituatie beschouwd. Dat blijkt: (1) onhandig, want de wrijving doet zich dan gelden, en (2) onnodig want de leerlingen weten al lang dat de krachten dan gelijk moeten zijn.

Verder onderzoek

Leerlingen merken vaak al gauw op: "Ja maar, de krachten zijn toch niet gelijk aan het begin, bij het optrekken?" Wees daarop bedacht, want dit is precies waar de leerlingdenkbeelden wél overeenkomen met die van Newton. Didactisch doel is dat leerlingen begripsmatig onderscheid gaan maken tussen de situatie van optrekken, en die waarin de snelheid constant is. Door aan dit inzicht veel aandacht te besteden versterk je bij de leerlingen het idee dat natuurkunde wel degelijk past bij wat ze al weten, maar wel een stapje verder gaat. Een enkel proefje is op zich natuurlijk onvoldoende om leerlingdenkbeelden over beweging en kracht uit te breiden tot Newtoniaans inzicht. Zo zullen veel leerlingen nog steeds spreken van een voorwaartse 'kracht van de beweging' als ze het na de finish doorglijden van een schaatser of uitrollen van een wielrenner beschrijven. Om dat aan te pakken is een serie activiteiten nodig over de vraag wanneer je iets in de natuurkunde een kracht noemt, en waarin het begrip interactie wordt geleerd; zie bijvoorbeeld Dekkers en Thijs (1998).



42

RAADSELACHTIG ROLLEN OP DE RAILS



Als je snelheid toeneemt, kan je versnelling dan afnemen?



15-30 minuten



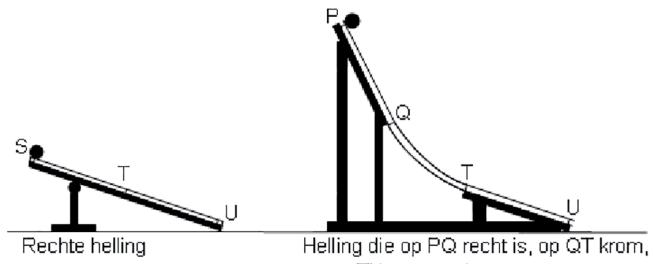
Vanaf klas 4

Begrippen: snelheid, versnelling

Bij deze demonstratie leren de leerlingen kwalitatief onderscheid te maken tussen snelheid en versnelling. De aandacht van de klas wordt gericht op subtiliteiten zoals 'hoe snel iets beweegt' versus 'hoe snel dat verandert'. Een werkblad staat op www.nvon.nl/showdefysica.

Nodig

Grote knikker, statieven,
enkele meters rails (U- of
H-profiel).



Voorbereiding

De opstellingen (zie figuur) bestaan uit een recht stuk rails van 1 m lengte, en een stuk van ongeveer 2 m, bestaande uit een recht deel PQ, een gekromd deel QT, en een minder steil recht deel TU. Schroef de rechte delen bij voorkeur vast op latten, gebruik verder statieven. *De steilheid is in de figuur sterk overdreven.* Gebruik, om het versnellen van de knikker te kunnen zien over het hele traject, een hellingshoek van ongeveer 5° op PQ.
De leerlingen moeten van versnelling de definitie al kennen en de versnelling in sommen kunnen berekenen.

Schematisch weergegeven proefopstellingen.

Uitvoering

1. Oriëntatie

Leerlingen kunnen vast correct vertellen hoe de positie (hoogte) en snelheid van de verticaal omhoog gegooide knikker veranderen. Maar sommigen zullen misschien zeggen dat de versnelling afneemt bij het omhoog bewegen, nul is op het hoogste punt, en toeneemt onderweg naar beneden. Dan is deze demonstratie zinvol. Onderzocht wordt of bij een veranderende snelheid, de versnelling ook altijd verandert.

2. Onderzoek van een rechte helling

Laat een knikker van een vrijwel horizontale rails rollen. Bijbehorende discussievragen zijn bijvoorbeeld:

- Hoe veranderen de plaats en snelheid in deze beweging?
- Wat gebeurt er als we de rails wat steiler maken? (Probeer dat uit.)
- Vergelijk hoe de snelheid verandert op een steile en een minder steile helling. Wat concludeer je?





Beoogde conclusies:

De snelheid van een knikker op een aflopende helling neemt altijd toe.

Op een steilere helling neemt de snelheid sneller toe.

3. Onderzoek van een kromme helling

De tweede helling is recht bovenaan (PQ), dan krom (QT), en tenslotte weer recht (TU), maar minder steil (dan PQ). Laat de knikker herhaald rollen, eerst van T naar U, dan van Q naar U, tenslotte van P naar U. Mogelijke discussievragen:

- Neemt de snelheid toe op TU? Op QT? Op PQ? Waarom?
- Wat gebeurt er precies met de snelheid op QT?
- *PQ is steiler dan TU, dus de beweging op TU is anders dan op PQ. Er moet 'iets' zijn dat kleiner wordt op QT, maar de snelheid kan het niet zijn. Wat wordt er dan kleiner op QT?*

Beoogde conclusies:

De snelheid van de kogel neemt toe op QT, maar de toename gaat steeds langzamer. We zeggen: de versnelling neemt af. Dat gebeurt omdat de steilheid van de helling afneemt.

Als de steilheid van de helling niet verandert, verandert wel de snelheid maar niet de versnelling.

Natuurkundige achtergrond

Omdat wrijving verwaarloosbaar is wordt de versnelling geheel bepaald door de steilheid van de helling. Strikt genomen worden in de proef geen versnellingen bepaald, dat zou vergelijken van snelheidsveranderingen in gelijke tijdsintervallen vergen. Toch doen leerlingen kwalitatieve inzichten op die het begrip versterken.

Verder onderzoek

Met een bewegingssensor kun je meten hoe een knikker een helling *op* rolt en dan terugkeert. De steilst mogelijke helling is verticaal: zo vinden we de beschrijving van de beweging van de omhoog geworpen knikker. Denk voor uitbreiding naar bewegingen met veranderende versnelling aan modelleeropdrachten.

Tips

Zet een bakje onder de helling om de knikker op te vangen. Onze testers gebruikten een U-profiel, maar ouderwetse gordijnrails (H-profiel) zijn ook goed.

Docenten willen soms meteen sensoren opstellen, de snelheden en versnellingen meten en die grafisch weergeven. Wacht daarmee. Een kwalitatieve uitvoering dwingt leerlingen na te denken over de gebeurtenissen zonder zich op formules te beroepen. Meten en rekenen zijn uiteraard zinnig, maar pas als ze de snelheid en de versnelling kunnen en willen onderscheiden.

Deze proef maakte deel uit van het promotie-onderzoek van Dekkers (1997) naar de vorm en functie van begripspractica bij mechanica. Het onderzoek werd uitgevoerd in Botswana en Zuid Afrika. Leerlingen leren kwalitatief onderscheid te maken tussen de begrippen (instantane) snelheid en versnelling, als onderdeel van de uiteindelijke ontwikkeling van het begrip versnelling.



43 DE STERKE PAPERCLIP



Derde wet van Newton



10-20 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: derde wet van Newton, actie-reactiepaar

Met deze demonstratie laat je grafisch zien dat de kracht die een magneet op een paperclip uitoefent hetzelfde is als de kracht die de paperclip op de magneet uitoefent. Voor veel leerlingen is dat een verrassende uitkomst. Je laat zien dat de derde wet van Newton zowel geldt wat betreft grootte als richting van de krachten. Je kunt de koppeling maken met de zwaartekracht en de kracht van de aarde op jou versus de kracht van jou op de aarde.

Nodig

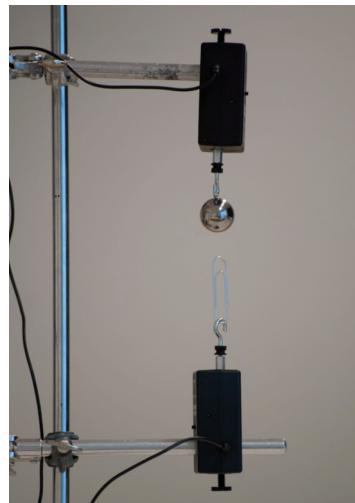
Sterke magneet, bij voorkeur rond (verkrijgbaar via www.supermagnete.nl); paperclip; twee dezelfde krachtsensoren; interface en bijbehorend meetprogramma (deze beschrijving gebruikt LoggerPro).

Voorbereiding

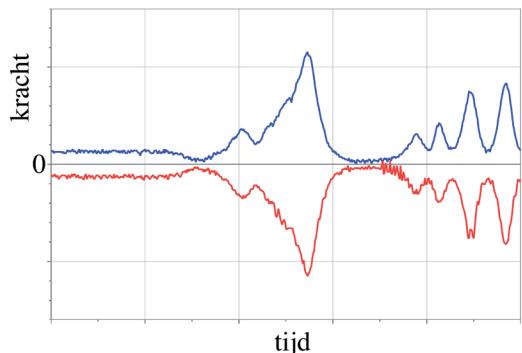
Opstelling klaarzetten inclusief gereed zetten van het meetdiagram. Daarbij moet je erop letten dat je één van de krachtsensoren 'vermenigvuldigt' met -1, om te compenseren voor de richting waarin die staat. Zet de sensoren op nul terwijl de magneet aan de bovenste sensor hangt om te compenseren voor de zwaartekracht. De zwaartekracht op de paperclip is zo klein dat je daarvoor niet hoeft te compenseren; nulstellen zonder paperclip aan de sensor is voldoende. De auteur stelt ook een triggerwaarde in, maar dat is niet noodzakelijk.

Uitvoering

Deze demonstratie kun je koppelen aan het actie-reactiepaar van de zwaartekracht. Vraag de leerlingen bijvoorbeeld wat er geldt voor de zwaartekracht van jou op de aarde



*De opstelling:
twee kracht-
sensoren met aan
de bovenste een
sterke magneet en
aan de onderste
een paperclip.*



Resultaat van een krachtmeting waarbij de afstand tussen de magneet en de paperclip is gevarieerd. De kracht is uitgezet tegen de tijd: rood geeft de kracht op de magneet en blauw de kracht op de paperclip.





versus de zwaartekracht van de aarde op jou. Dat kan in meerkeuzevorm met drie opties: groter, gelijk, kleiner. Waarschijnlijk kiezen de meeste leerlingen voor de optie waarbij de zwaartekracht van de aarde op jou het grootst is. Het is de moeite waard om nu de discussie te laten voeren. In mijn ervaring is er minimaal één leerling met het juiste antwoord inclusief juiste uitleg. Die krijgt het echter lastig voor elkaar om de klasgenoten te overtuigen. Die klasgenoten kun je wat meer aan het denken zetten door explicet te vragen naar redeneren met natuurkundige concepten in plaats van kreten als 'dat is toch logisch' of 'de aarde is veel groter, dus die oefent de grootste kracht uit, duuh'.

Je kunt de vraag naar de zwaartekracht nu met een analogie koppelen aan de opstelling met een magneet en een paperclip: de (ronde) magneet stelt de aarde voor en de paperclip een persoon. Om misconcepten te voorkomen, kun je explicet maken dat de kracht van geheel andere aard is. Weer volgt de vraag welke kracht groter is: die van de paperclip op de magneet of die van de magneet op de paperclip. De meeste leerlingen zullen bij hun eerdere analoge keuze blijven.

Nu volgt een toelichting bij de opstelling, waarbij je duidelijk wijst op de krachtsensoren. Start vervolgens een meting, terwijl je de onderste krachtsensor met paperclip op en neer beweegt in verticale richting. Tot verbazing van de meeste leerlingen is de grafiek prachtig symmetrisch. Even groot dus. Ook na afloop is de discussie nodig. Nog steeds zullen er leerlingen zijn, die het experiment in twijfel trekken om hun eigen misconception te kunnen handhaven. De terugkoppeling aan het oorspronkelijke zwaartekrachtsprobleem is ook nodig. Een mooie afsluiter is de conclusie dat jij blijkbaar constant een kracht van zo'n ... newton uitoefent op de aarde zonder dat je daar iets voor hoeft te doen. Vul op de puntjes het gewicht van een gemiddelde leerling in.

Tips

Uit de demo blijkt dat de actiekracht en de reactiekracht op hetzelfde moment even groot zijn; kun je dan nog wel spreken over een actie en een reactie? Dat levert nog een interessant discussiepunt.

Verder onderzoek

Hoe zit het met de grootte van de krachten als de paperclip en de magneet elkaar raken? Blijft het resultaat dan hetzelfde?



44 MET GLAZEN SLINGEREN



10 minuten

Vanaf klas 2

Begrippen: zwaartekracht, normaalkracht, traagheid, centripetaalkracht

Langzaam laat je het dienblad heen en weer gaan als een slinger. De glazen vallen niet om en het water gaat niet over de rand. Zo loop je door het lokaal en trek je de aandacht van de klas.

Nodig

Vierkant houten plankje (25 cm x 25 cm op de foto); sterk touw van 3 m lengte; plastic glazen met water. Zaag en boor zijn nodig bij de constructie.

Voorbereiding

Zaag uit hout een vierkanten plankje van circa 25 bij 25 cm. Boor vier gaatjes in de hoeken. Het touw moet net door de geboorde gaatjes kunnen. Neem twee stukken touw van circa 1,5 m. Haal één stuk touw door een gaatje en maak een stevige knoop aan de onderkant van het plankje zodat het touw blijft zitten. Als je touw met plastic coating gebruikt, kun je een knoop ook nog fixeren door (buiten) het plastic een beetje te laten smelten. Haal de andere kant van het touw door het boorgat op het hoekpunt diagonaal daar tegenover, maak ook hier een knoop. Herhaal dit met het andere touw bij de andere twee hoekpunten. Bind de twee touwen bij elkaar tot een handvat.

Vul één of meer glazen voor driekwart met water en plaats ze op het dienblad.



Figuur 1. Houten plankje met glazen water. Twee stukken touw zijn door de vier geboorde gaatjes gehaald. Aan de bovenkant zijn de touwen tot een handvat geknoopt.

Uitvoering

1. Houd het dienblad stil en vraag om het krachtendiagram van het glas water te tekenen.
2. Zorg voor voldoende ruimte. Langzaam laat je het dienblad heen en weer gaan als een slinger. De glazen vallen niet om en het water gaat niet over de rand. Maak de uitwijking van de slinger steeds groter. Dan maak je een volledige cirkelbeweging. Als je niet te plotseling afremt, blijf je droog. Hoe kan dat?
3. Teken twee krachtendiagrammen als het dienblad zich op het hoogste punt van de cirkelbeweging bevindt waarbij:
 - a. het dienblad *heel snel* in een cirkel beweegt;
 - b. het dienblad een *langzamere* cirkelbeweging uitvoert.
4. Waardoor blijft het water bovenaan in het glas?
5. Waardoor blijft het glas water op het dienblad?





6. Wat gebeurt er met de spankracht in het touw als je langzamer gaat draaien?
7. a. Als je doorgaat met vertragen, komt er een baansnelheid v waarbij het touw slap komt te staan en het dienblad de bovenkant van de cirkel niet meer haalt. Laat met behulp van het krachtendiagram en de formules uit Binas zien dat de minimale baansnelheid waarbij het dienblad nog net in een cirkel kan bewegen gegeven wordt door: $v_{kritisch} = \sqrt{gr}$ met g de valversnelling en r de straal van de cirkelbaan.
b. Bereken de baansnelheid v waarmee het dienblad nog net een cirkel kan maken. Laat de leerlingen de benodigde gegevens schatten.

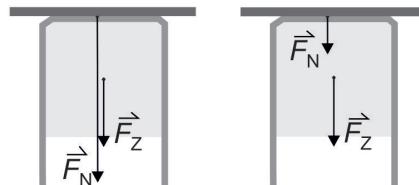
Natuurkundige achtergrond

Als het dienblad met glazen erop in beweging is zullen de glazen door de traagheid rechtuit gaan. Gaan ze een eenparige cirkelbeweging beschrijven, dan is er een middelpuntzoekende kracht nodig. Bij een afstand r van de glazen ten opzichte van het middelpunt van de cirkelbeweging geldt: hoe groter de (constante)baansnelheid v hoe groter de middelpuntzoekende spankracht F_{mpz} in het touw: $F_{mpz} = mv^2/r$.

$$F_{mpz} = F_N + F_z$$

Als het touw slap hangt, geldt $F_N = 0$.

$$mv^2/r = mg \Rightarrow v_{kritisch} = \sqrt{gr}$$



Krachtendiagram bij snel draaien (links) en bij langzamer draaien (rechts).

Tips

Je kunt leerlingen de demo ook zelf laten proberen. Begin met zwaaien en laat één rondje maken. Als je te plotseling afremt of steeds harder gaat slingeren gaat het mis. Een wedstrijdelement ontstaat als je het aantal glazen laat toenemen. Dit eindigt per definitie in een waterballet.

Je kunt het dienblad ook horizontaal of zelfs boven je hoofd laten slingeren. Dit vraagt wel veel ruimte en het is erg moeilijk om het geheel weer tot stilstand te laten komen zonder dat de bekers van het dienblad af schieten. Probeer dit met één beker.

Verder onderzoek

Je kunt ook een sinaasappel in een glas water doen en vragen wat er met de sinaasappel gebeurt als je gaat slingeren.

Veiligheid en milieu

Zorg bij het slingeren voor voldoende ruimte. Doe de demo op het schoolplein of bij twijfel op de gang. Bij te wild slingeren ontstaat een waterballet. Zorg ervoor het handvat niet los te laten (bij een stevige constructie met handvat is deze kans klein).

De demonstratie is geïnspireerd door Liem (1987). De demo is in de klas en ook in de gangen een grote hit. De leerlingen zijn erg verbaasd dat de bekers op het blad blijven staan zonder te knoeien. Filmpjes erover zijn op internet te vinden met als zoekterm 'centripetal force' in combinatie met bijvoorbeeld 'Spangler' of 'Mangiacapre'.



45 EEN INSTABIEL MOMENT?



Momentenschijf versus 'evenwichtsbalk'



15 minuten



Klas 4

Begrippen: hefboom, werklijn, arm, evenwicht (stabel, indifferent, labiel)

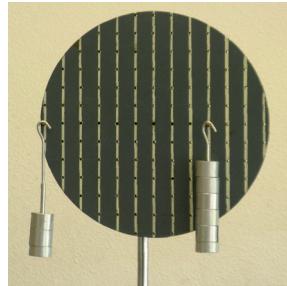
Een 'momentenschijf' is een draaibare schijf met gaatjes waaraan met behulp van pinnetjes gewichtjes kunnen worden gehangen. Daarmee kun je heel snel de hefboomwet laten zien, in zijn simpelste vorm met slechts twee krachten. Maar het kan ook ingewikkelder.

Dan blijkt dat het voor het evenwicht niet uitmaakt als je de verticaal geplaatste schijf een stukje draait. Alle armen worden immers in dezelfde verhouding kleiner.

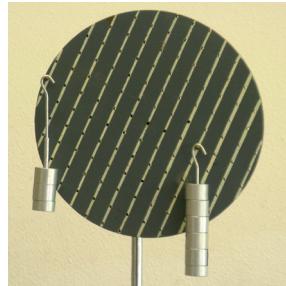
Maar een evenwichtsbalkje met gaatjes, waarmee de leerlingen meestal practicum doen, gaat bij evenwicht vanzelf horizontaal staan. Draai je hem een beetje, dan draait hij terug. Hetzelfde geldt voor de (ouderwetse) tweearmige balans. Die werkt juist volgens het principe: zuiver horizontaal betekent evenwicht.

De momentenschijf blijft bij evenwicht in iedere stand stilstaan; het balkje gaat bij evenwicht horizontaal staan. Wat is dan het verschil?

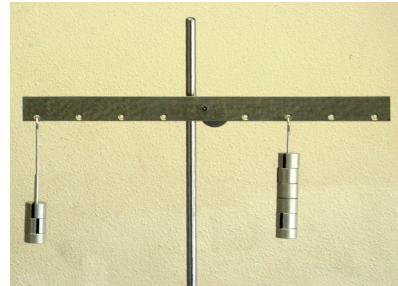
Als de leerlingen het experiment zelf moeten doen is een uitgebreide instructie nodig en ontbreekt elke verrassing.



Zo is de momentenschijf in evenwicht.



....en ook als hij schuin staat.



Maar het balkje is alleen horizontaal in evenwicht.

Nodig

Een momentenschijf met bijbehorende spijkertjes of pinnetjes; een 'evenwichtsbalkje' met gaatjes of pinnetjes die niet op één lijn liggen met het scharnierpunt; een aantal gelijke gewichtjes (met haakjes of stapelbaar); een of twee statieven en eventueel een tweearmige apothekersbalans.

Voorbereiding

De schijf en het evenwichtsbalkje aan het statief bevestigen.

Uitvoering

Laat met de momentenschijf verschillende evenwichtssituaties zien en herhaal de hefboomwet. Zo nodig voer je daarbij de begrippen 'werklijn' en 'arm' nogmaals in.





Gebruik daarbij alleen gaatjes die op dezelfde hoogte zitten als de as.

Vervolgens laat je zien dat het evenwicht niet wordt verstoord als je de schijf een stukje draait. Maak daarbij aannemelijk dat beide armen daarbij met dezelfde factor afnemen. Trek dan de pinnetjes eruit en stap over naar het evenwichtsbalkje. Laat zien dat de hefboomwet daar ook geldt. Maar: deze gaat bij evenwicht vanzelf horizontaal staan. Laat eventueel zien dat de balans dat ook doet.

Rara, hoe zit dat?

Ga terug naar de momentenschijf, waarbij je – zonder dat het publiek dat opvalt – de pinnetjes één rij lager weer insteekt. Maak weer evenwicht en laat zien dat de schijf nu opeens ‘hetzelfde gedrag’ vertoont als het balkje.

Heeft iemand daar een verklaring voor? Zo niet, draai dan de schijf een halve slag, zodat de pinnetjes hoger dan de as komen te zitten, en laat zien dat hij nu juist instabiel is geworden: *“Als je hem nu een stukje draait vanuit de horizontale stand kiepert hij helemaal om...”*.

Als de clou gevonden is laat je zien wat er met de armen gebeurt bij draaiing als de ophangpunten niet op één lijn liggen met de as.

Je licht nu de begrippen stabiel, labiel en indifferent evenwicht toe.

Natuurkundige achtergrond

Bij draaiing van de hefboom verandert de verhouding van de armen niet, zolang de ophangpunten en de as op één lijn liggen. Is dat niet het geval, dan wordt bij draaiing de ene arm in eerste instantie groter, terwijl de andere meteen afneemt. Dat verstoort het evenwicht. Als de as hoger ligt dan de ophangpunten is het evenwicht stabiel, ligt hij lager dan is het labiel.

Tips

De momentenschijf moet niet al te licht draaien; dan is hij in de labiele situatie nauwelijks in evenwicht te houden.

De momentenschijf kan ook gebruikt worden om te laten zien hoe je de hefboomwet vanuit zijn simpelste vorm kan uitbreiden en er, met invoering van de juiste begrippen, een heel eenvoudige fysische formulering van kunt maken.

Zie www.nvon.nl/showdefysica.

Verder onderzoek

Kijken hoe het zit als er meer krachten aan één kant werken. Dat kan ook al meteen in de demonstratie worden meegenomen.



46

EIEREN, HELMEN, EN VEILIGHEIDSGORDELS



De natuurkunde van breken of overleven



10 minuten



Vanaf klas 4

Begrippen: remweg, remtijd, spreiding van krachten; in de bovenbouw ook energie en arbeid

Hoe kun je breekbare voorwerpen zo verpakken dat hun kans om te breken minimaal is? De demonstratie is zonder formules ook geschikt voor de basisschool, de onderbouw en voor open dagen.

Nodig

Enkele ongekookte eieren, laken of gordijn, plastic vuilniszak op grond plakken (voor als het ei uit het laken valt). Voor uitbreiding of verdere illustratie eventueel een bal, helm, voorbeelden van verpakkingsmateriaal.



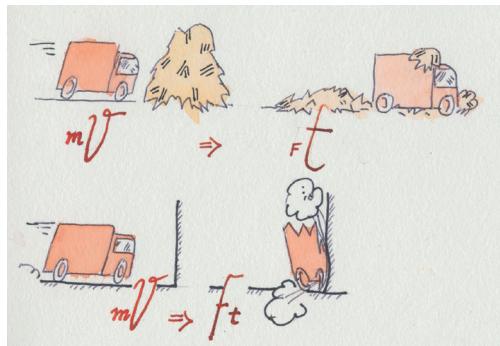
Voorbereiding

Geen.

Uitvoering

1. Docent laat een ei laten vallen op een krant op de vloer (of in een pannetje) om te laten zien dat het echt breekt.
2. Docent: *Nu ga ik het ei met maximale snelheid tegen de muur gooien maar als muur gebruik ik een badhanddoek.* (De onderste rand wordt als gootje vastgehouden om te verhinderen dat het ei op de grond rolt).
3. Docent: gooit
4. Docent: *Wat verschilt er tussen vloer en handdoek?*
5. Docent: *Als ik het ei op een kussen laat vallen, wat gebeurt er dan?*
6. (eventueel uitvoeren)
7. Docent: *Wat zijn de essentiële verschillen tussen muur en handdoek/kussen?*
8. Docent: *Hoe zou je begrippen als krachten en remweg kunnen toepassen om het niet-breken van het ei te verklaren?*
9. Uitleg (zie onder).
10. Docent: *Je ziet deze principes overal terug in het dagelijks leven. Voorbeelden?*

Figuur 1. Een ongekookt ei wordt met maximale snelheid in een laken, jas, of gordijn gegooid en breekt niet.



Figuur 2. Vrachtwagen gestopt door een hooiberg of door een muur.





Natuurkundige achtergrond

Basisschool en onderbouw: Je kunt het ei direct stoppen met een grote kracht (muur) en je hebt dan de zekerheid dat het breekt. De twee principes die gebruikt worden om breken te voorkomen zijn *spreiding van krachten en verlenging van remweg/remtijd*. Het laken heeft over een breed front contact met het ei waardoor de remkracht wordt gespreid over het ei. Het laken geeft ook mee en dat zorgt voor een langere remweg. Het ei wordt dan langzamer aferemd, dus met kleinere remkracht en kleinere kans op breken.

We zien dezelfde principes overal om ons heen. Een helm spreidt de remkracht over het hoofd en het schuimrubber aan de binnenkant verlengt de remweg. Als die remweg in plaats van 1 mm 1 cm wordt, dan zijn de krachten al 10 x zo klein (zie formules hieronder). Soortgelijke argumenten gelden voor een veiligheidsgordel, bokshandschoenen, honkbalhandschoenen, en de kreukelzone van een auto.

Bovenbouw: Stel dat het ei een energie $\frac{1}{2} mv^2$ heeft dan moet er $F.s = \frac{1}{2}mv^2$ arbeid verricht worden om het ei te stoppen. Dat kan met een grote kracht **F** en kleine remweg **s**, of met een kleine **F** en een grote **s**. Bij kleine kracht/grote remweg is er een grotere kans dat het ei overleeft.

Een andere uitleg is dat de impuls *mv* van het ei nul moet worden. Dat kan door een stoot $F.\Delta t$ waarbij *F* de remkracht op het ei is en Δt de remtijd. Ook hier geldt dat we de *F* groot kunnen maken en Δt klein **F**. Δt , of omgekeerd (*F*. Δt). In het laatste geval verlengen we de remtijd (en remweg) en heeft het ei een grotere kans te overleven.

Verder onderzoek

De docent kan met leerlingen gecontroleerde experimenten doen door eieren van gelijke hoogten op verschillende ondergronden (schuimrubber, kussen, verfrommeld papier, een dergelijke te laten vallen. Of door hoogte (dus snelheid) te variëren bij gelijke ondergrond. Experimenten met andere breekbare voorwerpen zijn ook mogelijk. Leerlingen kunnen ook verder gaan met de bekende eierencompetitie waarbij ze eieren laten vallen van grote hoogte met verpakkingen die breken moeten voorkomen. Met bovengenoemde principes kunnen leerlingen gerichter en meer *minds-on* werken aan het ontwerp van verpakkingsmateriaal in plaats van alleen door trial en error. Tester Wicher Oosterman deed dit met zeer beperkt materiaal, bijvoorbeeld per groepje 3 servetten, 4 rietjes, 50 cm plakband, 1 A4-tje en 8 satéprikkers.

Veiligheid en milieu

Geen veiligheidsproblemen, maar gooï het ei niet in de richting van leerlingen.

Figuur 2 en de uitleg van de natuurkundige achtergrond zijn geïnspireerd door Hewitt (2014), hoofdstuk 6.



47

SIMULATIE VAN RADIOACTIEF VERVAL



Een lesuur



Vanaf klas 5

Begrippen: straling, radioactief verval, halfwaardetijd

Radioactief verval is een statistisch proces. Radioactief verval is moeilijk voor te stellen. Het voor leerlingen onbekende statistische karakter is met deze demonstratie te visualiseren.

Je hebt de beschikking over een groot aantal blokjes, kubusjes, met een ribbe van ongeveer 1,5 cm. Ga uit van bijvoorbeeld 300 blokjes. Elk blokje is aan één kant blauw geschilderd en aan twee kanten rood. De andere drie zijden zijn blank.

Het statistische aspect van radioactief verval wordt gesimuleerd door de gekleurde blokjes te werpen. Als je de blokjes als dobbelstenen op tafel gooit, dan zal ongeveer 1/6 deel met de blauwe kant boven komen te liggen, 2/6 deel rood, 3/6 deel wit.

Je kunt de blokjes met de rode bovenkant wegnemen en de rest weer op tafel gooien. Weer de blokjes met de rode bovenkant wegnemen. Enzovoort. Na een aantal worpen zijn alle blokjes met rode bovenkant weggenomen.

Je had ook de blokjes met een blauwe bovenkant kunnen wegnemen. Dan zal het meer worpen kosten voordat alle blokjes zijn weggenomen.



Alle blokjes na de eerste worp.



De blokjes waarvan de blauwe kant na deze eerste worp boven is komen te liggen zijn apart gelegd.

Nodig

Voor een goede statistische benadering is een beginaantal van driehonderd blokjes voldoende.

Voorbereiding

Je maakt de driehonderd blokjes door uit te gaan van een lat die een vierkante doorsnede heeft. Een zijde schilder je blauw, twee zijden rood. Na het zagen zijn er drie zijden van de blokjes blank.

Uitvoering

- 1a. Tel het beginaantal blokjes. Dat aantal geef je aan met $O(0)$. De letter O staat voor Overgebleven. Het cijfer 0 staat voor 0 keer geworpen.





Gooi alle blokjes voor de eerste keer. Neem alle blokjes weg die met de rode kant boven zijn komen liggen. Het aantal blokjes dat over is noem je $O(1)$. Dat staat dus voor het aantal blokjes dat over is na één worp.

Gooi voor de tweede keer met de blokjes die overbleven. Neem weer de rode blokjes weg. Nu blijft het aantal $O(2)$ over.

Doe zo ongeveer 10 worpen, tenzij de blokjes eerder op zijn.

- 1b. Teken de grafiek van het aantal overgebleven blokjes uitgezet tegen het aantal worpen, dus $O(n)$ tegen n .
 - 1c. Bedenk een formule die het verband aangeeft tussen $O(n)$ en het begin aantal $O(0)$.
 - 1d. Teken de grafiek die bij deze formule hoort.
 - 1e. Geef commentaar op de mate van overeenstemming tussen de grafiek van de tellingen en de grafiek van de formule.
-
- 2a. Voorspel de grafiek als je de blokjes met blauwe bovenkant wegneemt in plaats van die met rode bovenkant.
 - 2b. Doe de tellingen en ga na hoe goed de grafiek past bij de theoretische grafiek.

Laat een grafiek zien van het aantal radioactieve kernen als functie van de tijd. (Of van de stralingsactiviteit van een radioactieve stof.) Bij die grafiek hoort de formule:
 $N(t) = N(0) \cdot (\frac{1}{2})^{t/T}$ of wel

De vorm van de grafiek lijkt sterk op die van de grafieken van de tellingen van de overgebleven blokjes.

De achtergrond is de volgende:

- bij de *blokjes* hangt het aantal blokjes dat overblijft af van het aantal waarmee je begint **én** van de kans dat de rode kleur boven komt;
- bij de *atoomkernen* hangt het aantal keren dat overblijft af van het aantal waarmee je begint **én** van de kans dat een kern vervalt.

Verder onderzoek

Bij radioactieve processen vervalt een radioactieve stof A tot stof B.

Dat werd gesimuleerd door de blokjes (stof A) te gooien. De rode blokjes (stof B) werden weggenomen.

Het is goed mogelijk dat stof B zelf ook radioactief is en vervalt tot stof C. Dus $A \rightarrow B \rightarrow C$.

Daarbij groeit enerzijds het aantal kernen B door verval van A en vermindert anderzijds het aantal kernen B doordat er vervallen tot C. Als stof C stabiel is, zal de hoeveelheid C alleen maar toenemen.

Dat kun je ook simuleren en wel door twee soorten worpen parallel uit te voeren. De eerste soort is de boven beschreven serie. De tweede verloopt als volgt.

Verzamel de weggenomen rode blokjes (stof B) steeds, maar gooi ze ook. Neem ze weg als ze blauw (stof C) worden.

Enerzijds groeit het aantal weggenomen rode blokjes. Maar vermindert het ook doordat ze blauw worden bij een gooien.

Het aantal blauwe blokjes zal alleen maar toenemen.

Tips

Je kunt computersimulaties maken van dit 'vervalproces'.



48 PLANCK MET LEDS



20 minuten



6 vwo

Begrippen: light emitting diode (led), foton, (piek)golfelengte, drempelspanning, foto-elektrisch effect

Quantummechanica behoort tot het examenprogramma natuurkunde, dus een prachtkans om leerlingen met een moderne demonstratie een quantumexperiment te laten zien: de energie van een foton hangt af van de kleur (dus van de frequentie). Je meet de drempelwaarde van de spanning waarbij verschillende kleuren leds net gaan branden.

Nodig

Regelbare spanningsbron (tot 15 V); weerstand 100 Ω ; leds met verschillende kleuren (bij voorkeur rood, groen en blauw); aansluitdraden; demonstratie-spanningsmeter (eventueel demonstratie-stroommeter en een webcam).



Figuur 1. Een led in een zwart krimp-kousje gevat.

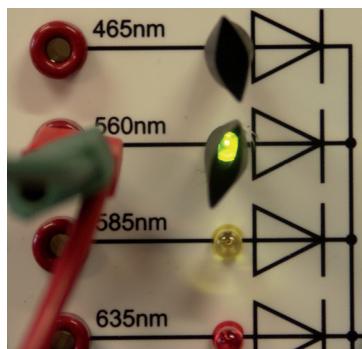
Voorbereiding

Doe om de leds een zwart krimpkousje (figuur 1) dat aan de bovenzijde nog open is of monter de leds in een zwart buisje, zodat je goed kunt zien wanneer ze aan gaan.

Je kunt ook kiezen om een gevoelige stroommeter in serie met de leds te zetten. Die moet dan nog net op 0 mA staan.

Zorg dat de leds – die hier de ‘hoofdpersonen’ van de demonstratie zijn – goed zichtbaar zijn vanuit het standpunt van de observatoren (figuur 2). Gebruik eventueel een webcam.

Ook de voltmeter moet goed zichtbaar zijn.



Figuur 2. Zo zie je goed of de led brandt of niet.

Uitvoering

Het is aardig om eerst eens door een tralie naar het spectrum van een gloeilamp en van een led te kijken.

Deze lichtbronnen reageren daarnaast ook verschillend op een verlaging van de spanning. De docent demonstreert dit met de rode led.

Hangt de spanning waarbij de led uit/aan gaat af van de kleur van de led?

Laat de leerlingen een voorspelling doen en hun keuze beargumenteren.

Vervolgens voert de docent de demonstratie uit.

Natuurkundige achtergrond

Je zou de werking van een led kunnen zien als het omgekeerde foto-elektrisch effect. Bij het foto-elektrisch effect wordt licht (fotonen) gebruikt om elektronen uit een stof te bevrijden. In een led worden elektronen (stroom) gebruikt om photonen te genereren.





Bij halfgeleiders zoals in leds kan geleiding pas optreden als de elektronen voldoende energie hebben om van de lagere valentieband naar de geleidingsband te gaan. De minimale energie die de elektronen daarvoor moeten hebben is E_{gap} . De 'gap' is het gebied tussen valentie- en geleidingsband waar geen energieniveaus zijn.

De drempelspanning is de kleinste spanning waarbij de led aan gaat. Bij deze spanning hebben de elektronen voldoende energie om de energiekloof E_{gap} te overbruggen:

$$E_{gap} = E_{licht} = eU_{drempel}$$

Daarbij is E_{gap} de energiekloof en E_{licht} de energie van de helderste golflengte die door de led wordt uitgestraald, e de elektronlading en $U_{drempel}$ de drempelspanning. (In feite is dit een wat vereenvoudigde voorstelling. De energieën zijn slechts bij benadering gelijk aan elkaar.)

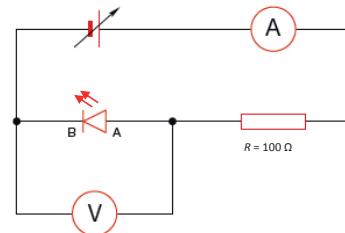
Voor de energie van een foton (E_{licht}) geldt: $E_{licht} = hf = h(c/\lambda)$

h is de constante van Planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js

c is de lichtsnelheid = $2,998 \cdot 10^8$ m/s

f is de frequentie van het uitgezonden licht

λ is de golflengte van het uitgezonden licht



Figuur 3. Schema van de schakeling.

Tips

Wil je alleen laten zien dat de drempelspanning afhangt van de kleur van de led, dan is elk setje van rood, (geel), groen, blauw voldoende zolang de piekgolflengte maar bekend is. Het is dan handig om leds te hebben die een redelijke stroomsterkte aan kunnen (bijvoorbeeld 20 mA) en waarvan de (I, U)-karakteristieken en piekgolflengte op het web kunnen worden opgezocht.

Leds van fabrikant Vishay: de TLC.58, Ultrabright led, 5 mm diameter Untinted Non-diffused zijn zeer geschikt vanwege hun hoge intensiteit.

Verder onderzoek

Er zijn leermiddelen in de handel waarop leds met gegeven golflengte gemonteerd zijn (zie figuur 4), zodat je voor elke led de drempelspanning kunt meten en een grafiek van U vs f kunt maken.



Figuur 4. Opstelling met leds van verschillende golflengte.

Deze demo is ontleend aan het werkblad 'Constante van Planck met leds' van Project Moderne Natuurkunde. Figuur 3 is met toestemming van Noordhoff overgenomen uit *Overal Natuurkunde, leerboek 4V*, figuur 2.31b.



49

ZONNEBEELDEN EN BEELDVORMING



Desnoods zonder zon



5 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: voorwerp, beeld, diafragma, camera obscura

Minnaert (1968, p. 15): *In de schaduw van een groep bomen zien we op de grond een aantal lichtvlekken, onregelmatig verspreid, sommige klein, sommige groot, maar alle mooi gelijkvormig elliptisch. En iets verder: Het verrassende is nu, dat al die beeldjes dezelfde vorm hebben; het is toch niet mogelijk dat die reten en spleten [in het bladerdak] alle toevallig zo mooi gelijkvormig en rond zijn!*

Dit is een demonstratie vanwege het gesprek achteraf: niet het gaatje, maar het voorwerp wordt afgebeeld.

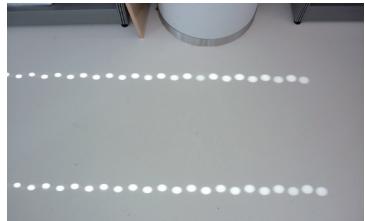
Nodig

Een kartonnen A4-blad met verschillende vormen gaatjes: driehoekig, vierkant, willekeurig.

Als de zon onzichtbaar is of kan verdwijnen, gebruik dan een optische rail met lamp; een gelijke L- of F-vormige spleet als voorwerp; houder voor het kartonnen blad; en een scherm. Mocht het lokaal luxaflex hebben met rechthoekige gaatjes en mocht de zon er mooi op schijnen, dan die gebruiken!



Figuur 1. Zonlicht komt door rechthoekige gaatjes in de luxaflex...



... en vormt ronde afbeeldingen op de vloer.



Figuur 3. De kleine gaatjes tussen je vingers zorgen voor een afbeelding van de zon tijdens een zonsverduistering.

Voorbereiding

Gaatjes maken in het kartonnen A4-blad of in ander geschikt materiaal. Eventueel laptop en webcam opzetten om zonnebeelden zeer zichtbaar te projecteren. Zorg voor een blauwe hemel met wat mooie wolken en zon. Alternatief: optische rail met enige verduistering.

Uitvoering

1. Docent: *Ik heb hier diverse vormen gaatjes (tekent op bord een ronde, driehoekige,*



vierkante, en willekeurige vorm), als daar direct zonlicht op valt, wat zien we dan op het scherm? (Of: de vloer, of het scherm van de optische rail, of (met de webcam) het scherm voor de klas). Teken in je schrift wat je verwacht te zien.

2. Docent loopt even rond en schetst een paar populaire antwoorden op het bord.
3. Docent: *Dan gaan we nu eens kijken*. Laat achtereenvolgens de beelden zien bij verschillende vormen. Die beelden zijn verrassend gelijk, ellipsvormig als het de zon betreft, of een op zijn kop staande L of F als de optische rail gebruikt is. Zorg ervoor dat het resultaat goed inzinkt bij elke leerling.
4. Docent: *Wat is het dat we zien? De lichtbron (zon of L of F) en niet de schaduw van het gaatje! Construeer op papier de gang van de lichtstralen van voorwerp/lichtbron door het gat naar het scherm.* (Snel alternatief: docent doet het zelf).
5. Docent doet dit op het bord en laat eventueel de stralengang zien bij een camera obscura.
6. Bij zon en wolken: laat zien wat er gebeurt als er een wolk langs de zon gaat (wolk van links naar rechts, in het beeld van rechts naar links). Maak desgewenst gebruik van het filmpje op www.nvon.nl/showdefphysica.
7. Bij onzichtbare zon: hand van links naar rechts voor L of F langs, in het beeld van rechts naar links.

Natuurkundige achtergrond

Het verschijnsel is als de camera obscura zonder doos. Niet de spleet wordt afgebeeld, maar het voorwerp (F, L) of de lichtbron (zon). In het beeld zijn onder en boven en links en rechts verwisseld net als in de camera obscura.

Verder onderzoek

Je kunt uit de diameter van het zonnebeeld en de beeldafstand en de afstand zon – aarde de diameter van de zon berekenen. Of geef die diameter en laat leerlingen de afstand zon – aarde berekenen. Wat een kracht in zo'n simpele meting!

Paul Hewitt suggereerde in een e-mail nog een verdiepingsopgave: *When students hold a card with its pinhole in sunshine coming thru a classroom window, they find that the diameter of the sunball (zonnebeeld) is approximately 100 times smaller than the distance between the card and the image. If a coin is used to measure the diameter of the sunball, that means 100 coins, end to end, would fit between the floor and the card. So the question for the class is, how many suns would fit between the card and the actual position of the sun?? This is frosting on the cake, I think you'll agree.*

Deze proefbeschrijving is geïnspireerd door Minnaert (1968). Hij is in iets andere vorm eerder verschenen in NVOX (Van den Berg, 2011).



50 STAANDE GELUIDSGOLVEN



50 minuten



Vanaf klas 4

Begrippen: longitudinale staande golven, resonantie, eigenfrequenties, open en gesloten uiteinde.

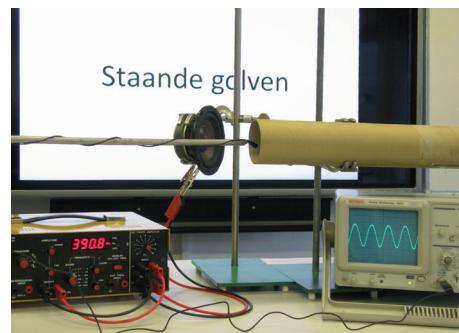
Hoe kan een buis met lucht meerdere tonen geven? Wat gebeurt er dan met de lucht in de buis en wat is de invloed van een open of gesloten uiteinde?

In een serie demonstraties van basaal tot ingewikkeld maakt de leerling kennis met resonantie van een luchtkolom in een buis, het bestaan van meer dan één eigenfrequentie, het meten van die eigenfrequenties bij een open en gesloten uiteinde, én een verrassing als die staande golven in de buis met een microfoon worden 'afgetast'. Het zijn demonstraties omdat het gebruiken van toongenerator en luidspreker in combinatie met microfoon en oscilloscoop vrij ingewikkeld is. Didactisch is het verstandig deze demonstraties over twee of drie lessen te verdelen met steeds een stukje verklaring/verwerking daartussen.

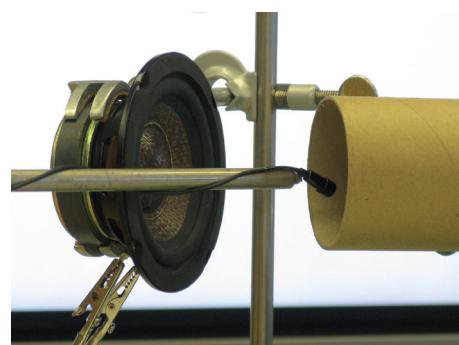
Nodig

Kartonnen 'posterkoker' met een goed sluitende maar makkelijk los te trekken dop; doorzichtige buis van ruwweg 1 meter lengte met één goed passende dop of stop; statief (of twee) met klem(men) waar de buis horizontaal in kan worden vastgezet.

Toongenerator; luidsprekertje aan statief; klein microfoontje, bevestigd aan het uiteinde van een dunne staaf die minstens zo lang is als de buis; statief met klem waarin de staaf met microfoon horizontaal kan worden vastgezet; oscilloscoop en meetlint of lange meetlat.



Staande golven



Figuur 1. Eigenfrequenties opmeten met microfoon bij het uiteinde van de buis.

Voorbereiding

Leg de kartonnen koker klaar met de dop erop. Zet de doorzichtige buis horizontaal vast in het statief met de dop of stop erop.

Zet het luidsprekertje én het microfoontje allebei vlak voor het open uiteinde van de buis.

Sluit het luidsprekertje aan op de toongenerator en zet die op het bereik van 100 –1000 Hz. Sluit het microfoontje aan op de oscilloscoop en kies een geschikte instelling van de tijdbasis voor frequenties van 100 tot 500 Hz.

Uitvoering

Trek de dop van de kartonnen koker en druk hem er in één keer weer op. Laat horen dat





je bij het lostrekken een veel hogere toon hoort dan bij het erop drukken. Datzelfde kun je ook horen als je over het open einde van de buis blaast zonder dop en met dop. Het scheelt één octaaf...

Doe de stop of dop er weer op. Zet dan de toongenerator aan en laat horen en zien (op de oscilloscoop) dat de lucht in de buis kan resoneren. Ga op zoek naar eigenfrequenties en de grondtoon. Laat zien dat de boventonen 3, 5, 7... keer zo hoog zijn als de grondtoon.

Haal nu de dop of stop eraf en herhaal het onderzoek. Stel vast dat de grondtoon nu ongeveer 2 keer zo hoog is en de boventonen 2, 3, 4 ... keer zo hoog als de grondtoon. Maak, als dat bekend is, een vergelijking met de eigenfrequenties van een snaar.

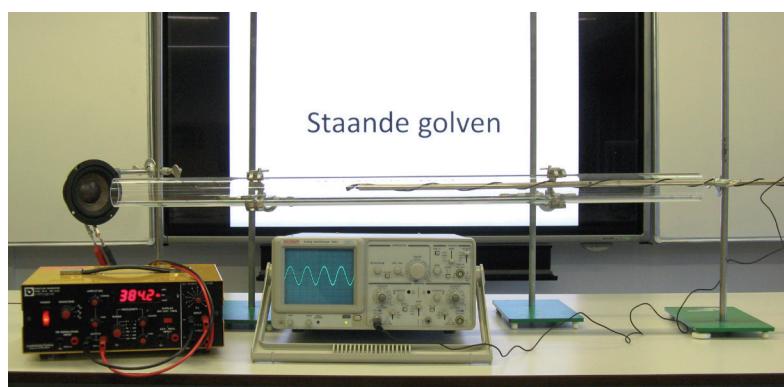
Het is het handigst om nu het experiment te stoppen en eerst de resultaten te verklaren door de staande golfpatronen in beide situaties te bespreken (en al enkele opdrachten of opgaven daarover te maken).

Daarna kan door meting van de lengte van de buis de geluidssnelheid worden bepaald. Vervolgens (een volgende les...) kan de theorie getoetst worden door de golf patronen 'af te tasten' met het microfoontje. Dat gaat het makkelijkst met twee open uiteinden, en de microfoon aan de andere kant van de buis als de luidspreker. Zie figuur 2.

Stel de toongenerator in op de grondtoon of een van de boventonen en laat voorspellen hoe het staande golftype eruit zal zien. Ga vervolgens op zoek naar knopen en buiken door het microfoontje aan de staaf door de buis te schuiven. Waar knopen verwacht worden is de geluidsintensiteit het hoogst, en omgekeerd... Dat vraagt een verklaring!

De geluidssnelheid kan nu nauwkeuriger worden bepaald doordat de ligging van de knopen en met name van de buiken nauwkeuriger te bepalen is.

Figuur 2. Buiken en knopen zoeken met de microfoon in de buis.



Staande golven

Natuurkundige achtergrond

Het is wel prettig als de leerlingen al bekend zijn met staande golven in een snaar. Het verschijnsel resonantie moet wel bekend zijn, op zijn minst van een stemvork. Het ligt voor de hand om – zoals dat in de meeste leerboeken gebeurt – eerst lopende golven te bestuderen en dan de staande golven in een snaar, bijvoorbeeld met de proef van Melde.

Voor het begrip van deze proef is het inzicht belangrijk dat geluidsgolven longitudinaal zijn.

Bij staande longitudinale golven registreert een microfoon – en ook ons oor – het meeste geluid in de knopen, doordat daar de drukvariaties het grootst zijn.



De praktijk is altijd minder mooi dan de theorie. Bij een panfluit hangt de toonhoogte, dus de ligging van de buik bij het open uiteinde, af van de manier van aanblazen. De positie van het luidsprekertje ten opzichte van de buis zal bij deze proef ongetwijfeld ook van invloed zijn. Dat zou verder onderzocht kunnen worden.

Tips

- De eigenfrequenties zijn niet altijd even goed hoorbaar, maar met de oscilloscoop gemakkelijk te vinden.
- Als de buis korter is dan 80 cm, dan ligt de grondtoon bij één open uiteinde beneden de 100 Hz. Bij de meeste toongeneratoren moet er dan tijdens de metingen van bereik gewisseld worden en dat is niet handig: Dan kun je niet met één draai aan de knop de grondtoon en een aantal boventonen laten horen.
- Een buislengte van precies één meter rekent gemakkelijk.
- Het microfoontje (en de diameter van de staaf waar hij aan vast zit) moet veel kleiner zijn dan de binnendiameter van de buis, anders gaat hij als (min of meer gesloten) uiteinde fungeren en de golfs patronen beïnvloeden. Om dezelfde reden moet het luidsprekertje niet te dicht bij het uiteinde van de buis staan, en ook zeker niet loodrecht erop. Vooraf goed uitproberen is noodzakelijk.
- Natuurlijk kunnen alle experimenten gedaan worden met de doorzichtige buis, maar het is wel leuk om te beginnen met zo iets alledaags als een kartonnen posterkoker. Het grootste deel van het experiment kan ook met de kartonnen koker, maar bij het laatste deel moet het microfoontje in de buis zichtbaar zijn.
- In plaats van de beschreven volgorde kunnen na het meten van de eigenfrequenties ook meteen de staande golfs patronen onderzocht worden door het microfoontje door de buis te schuiven. Dan moet wel op dat moment al duidelijk worden dat de microfoon reageert op drukvariaties en dus in de buiken niks 'hoort' en in de knopen juist wel. Voordeel hiervan is dat de theorie helemaal vanuit het experiment kan worden ontwikkeld; nadeel dat het hele experiment dan erg lang duurt en er erg veel tegelijk op de leerlingen af komt.
- Als de oscilloscoop en microfoon vervangen worden door een dB-meter kan het eerste deel ook als leerlingenpracticum uitgevoerd worden; het kan zelfs 'op het gehoor', maar of dat werkt als verschillende groepen dezelfde proef aan het doen zijn...?
- Met deze opstelling kan ook aangetoond worden dat het klankkastje van een stemvork afgestemd is op de stemvork, door de buis te vervangen door het klankkastje. Meestal klopt dat overigens maar matig; de eigenfrequentie kan tientallen Hz verschillen van de verwachte 440 Hz.
- Als er een 'zingende slang' beschikbaar is kun je daarmee beginnen en laten horen dat:
 - De slang een grondtoon en boventonen heeft door de slang steeds sneller rond te draaien.
 - Die tonen bij een lange slang lager zijn dan bij een korte slang (dankzij zijn ribbels is zo'n slang uit te rekken en in elkaar te duwen)
- De inleidende proefjes (kartonnen koker met/zonder dop, zingende slang, onderzoeken van klankkast stemvork) kunnen ook al eerder gedaan worden bij het onderwerp resonantie, of gewoon de voorafgaande les.

Verder onderzoek

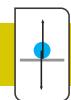
Als bekend en begrepen is dat een luchtkolom een grondtoon en boventonen heeft, kan vervolgens vastgesteld worden dat je met de buis alleen die tonen kan produceren, door erop te tikken, blazen of wat dan ook. Dat kan met de buis zelf, maar ook met echte





blaasinstrumenten. Het lukt bijvoorbeeld goed met een vuvuzela; daarbij is de lengte simpel te meten, zodat toetsing van de resultaten aan de theorie gemakkelijk is. Bij dit onderzoek is software met frequentie-analyse (Coach, Data Studio, Capstone) een mooi hulpmiddel om de frequenties van de grond- en boventonen te bepalen. Maar je moet natuurlijk ook het gewone oscillogram bekijken om te zien hoe de vorm van de trilling verandert als er boventonen zijn. Ook dat gaat goed met een vuvuzela. Ook in je eigen stem kun je de grond- en boventonen onderzoeken, bijvoorbeeld bij het zingen van verschillende klanken: ooooo.., aaaaa..., eeeee..., ieieieie..., uuuuu..., oeoeoeoe.... Bij welke klank heb je de mooiste sinus (dus vrijwel geen boventonen)? Als er CO₂-gas, helium of stikstof beschikbaar is zou je dat ook eens in de buis kunnen laten lopen en kijken wat er gebeurt.

BROEKZAKDEMO : KINEMATICA



Loop voor de klas (a) met constante snelheid, (b) versneld of vertraagd, (c) stoppen en gaan, (d) vooruit en achteruit. Laat de leerlingen steeds de beweging schetsen in een grafiek van de positie versus de tijd, of van de snelheid versus de tijd. Natuurlijk had je bewegingssensoren mee moeten nemen, maar je was te laat of de toa was er niet en je had geen sleutel. Geeft niet, het lopen voor de klas en het schetsen door leerlingen gaat zeker net zo goed. Loop ook langs de leerlingen om te zien wat ze er van bakken. Als er veel fouten zijn, even een stapje terug doen en een soortgelijke beweging uitvoeren en weer laten schetsen. Steeds één grafiek tegelijk doen, dan even klassikaal terugkoppelen, en dan de volgende grafiek. Na 15 – 20 minuten staan jij en de leerlingen verbaasd van de resultaten.





51 AH HA: TOTALE REFLECTIE



10 minuten



Klas 3

Begrippen: brekingsindex, totale reflectie

Een rechthoekig prisma heeft twee rechthoekvlakken en een schuin vlak. Een letter op een van de rechthoekvlakken is te zien op het andere rechthoekvlak. Dat weet je van de periscoop. Maar wat gebeurt er als je twee rechthoekige prisma's met de schuine vlakken tegen elkaar aanzet?

Deze demonstratie laat op treffende wijze de totale reflectie zien. Totale reflectie die even later totaal wordt opgeheven.

Nodig

Twee rechthoekige prisma's; grote plakletters A en H die op een rechthoekzijde worden geplakt; handig is een draaitafeltje; en een druppelaar.

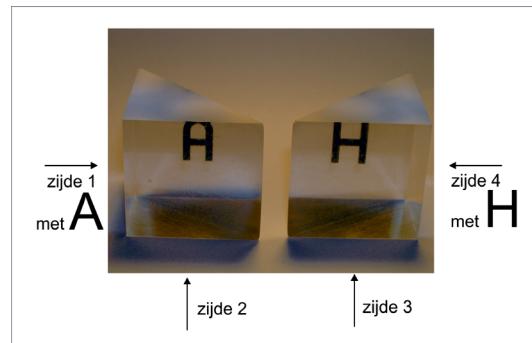
Voorbereiding

Geen.

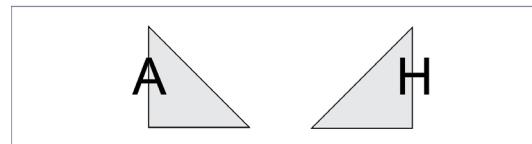
Uitvoering

In figuur 1 zie je twee rechthoekige, glazen prisma's. Het linkerprisma met rechthoekzijden 1 en 2. Het rechterprisma met rechthoekzijden 3 en 4. Op zijde 1 is een plakletter A aangebracht, op zijde 4 de plakletter H.
Wanneer je loodrecht op zijde 2 kijkt, zie je A. Kijk je loodrecht op zijde 3 dan zie je H.
Nadat dit getoond is, volgt een bespreking van het hoe en waarom.
In figuur 2 zijn de prisma's met de plakletters schematisch weergegeven.

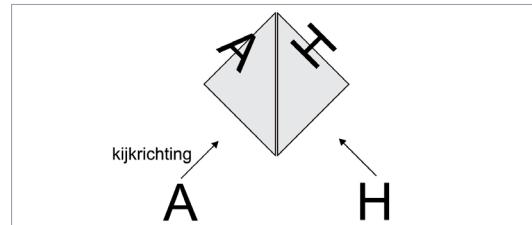
Zet nu de prisma's bijna tegen elkaar, zoals in figuur 3 is



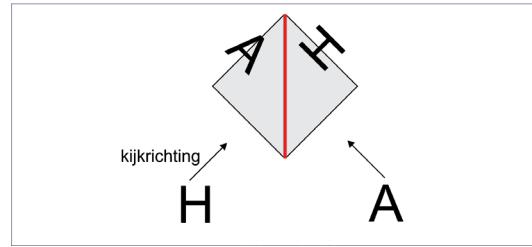
figuur 1



figuur 2



figuur 3



figuur 4





weergegeven. De afstand is zo groot als de dikte van een blaadje papier.

In de twee aangegeven kijkrichtingen zie je respectievelijk A en H.

Breng nu met een druppelaar één of zo nodig meerdere druppels water tussen de prisma's. Zie het rode lijntje in figuur 4. De prisma's zijn nu optisch aan elkaar gelijmd: het is alsof ze optisch een geheel vormen.

Wanneer je nu in de aangegeven kijkrichtingen kijkt, dan zijn de letter A en H verwisseld: je ziet H en A.

Natuurkundige achtergrond

Bij het eerste deel van de demonstratie (figuur 3) speelt het begrip totale reflectie de hoofdrol. De brekingsindex van glas naar lucht is zodanig dat een lichtstraal die onder een hoek van 45° op de overgang van glas naar lucht valt, wordt gereflecteerd.

Bij het tweede deel van de demonstratie valt licht onder een hoek van 45° op de overgang van glas naar water. Dan treedt geen reflectie op.

Tips

Om de verschillende kijkrichtingen te bereiken is het gemakkelijk om de prisma's op een draaitafeltje te plaatsen. Zet een camera voor het tafeltje en draai het tafeltje heen en weer.

Verder onderzoek

Munt op de bodem van een bakje water.

Er zijn veel voorbeelden van totale reflectie te vinden en eenvoudig uit te voeren, bijvoorbeeld met een bakje water. Op de bodem ligt een munt. Je ziet de gereflecteerde munt. Als je dit bakje in een grotere bak met water zet, dan verdwijnt de geflecteerde munt. Of nog eenvoudiger: houd een natgemaakte hand tegen de achterzijde van het bakje.





52 SCHADUW VAN EEN VLAM



Absorptie- en emissiespectrum



5-15 minuten



Klas 5 en 6 vwo

Begrippen: absorptiespectra, emissiespectra, ontstaan van Fraunhoferlijnen, steratmosferen

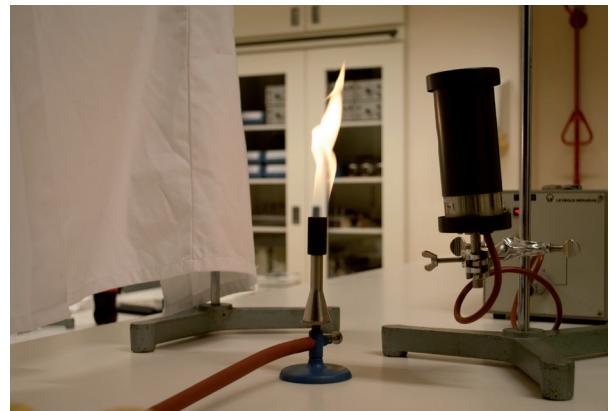
Deze demonstratie is zeer geschikt om de paradox rond het ontstaan van absorptiespectra te verhelderen: een gas absorbeert weliswaar bepaalde straling, maar zendt exact dezelfde golflengte vervolgens ook weer uit. Hoe ontstaan dan de donkere Fraunhoferlijnen? Deze demonstratie maakt duidelijk dat die lijnen ontstaan vanwege verstrooiing.

Nodig

Natriumlamp; brander; doorzichtig scherm groot genoeg om de vlam aan het oog te onttrekken; keukenzout (eventueel kaliumzout); bij voorkeur handspectrocoop.

Voorbereiding

Het heeft meerwaarde als de opstelling in de klas wordt opgebouwd, omdat daardoor de nadruk ligt op de volgorde waarin de processen zich afspelen: eerst emissie, dan absorptie, dan waarneming. Zet de natriumlamp op tijd aan of benut de opwarmtijd door (nog eens) na te laten denken waarom die lamp eigenlijk moet opwarmen. Het lokaal moet verduisterd zijn voor een maximaal show-effect, maar het verschijnsel is ook zichtbaar in een niet-verduisterd lokaal.



De opstelling: een natriumlamp, een blauwe vlam en een half-doorlatend scherm (hier is een labjas gebruikt).



Links: de schaduw aan de andere kant van het scherm; rechts: de situatie met vlam. Hier is zowel de verstrooiing, de emissie en de resulterende absorptie zichtbaar.





Uitvoering

De docent licht de opstelling toe en zet het scherm tussen de vlam en de klas, dusdanig dat de vlam volledig aan het zicht is ontrokken. Het is de bedoeling dat de leerlingen eerst alleen de schaduw zien zonder de emissie van het zout te kunnen waarnemen. Wees ook beducht op spiegelende oppervlakken achter de vlam (zoals een whiteboard). Door keukenzout in de blauwe vlam te strooien (zie ook tips), kun je de vlam een duidelijke schaduw laten werpen.

De didactische meerwaarde zit vooral in het vervolg: de docent vraagt een verklaring voor het ontstaan van de schaduw, liefst met schematische tekening van de opstelling en het proces. Daarbij kun je de leerlingen laten voorspellen welke kleur de vlam heeft. Indien gewenst, dan kan dat in meerkeuzevorm (doorzichtig blauw, ondoorzichtig blauw, doorzichtig geel, ondoorzichtig geel, doorzichtig donker, ondoorzichtig donker). Ondanks het feit dat veel leerlingen eerder natrium in een vlam hebben gezien, zal een redelijk aantal voor ‘ondoorzichtig zwart’ of ‘ondoorzichtig donker’ kiezen, blijkbaar ontstaan schaduwen door donkere materialen...

De opstelling kan nu 90° gedraaid worden om het resultaat aan de natuur zelf te vragen. Bij een aantal leerlingen zal de verbazing groot zijn als de vlam fel en ondoorzichtig geel wordt. Nu kan de klas samen met de docent tot de juiste verklaring en de juiste schets komen.

De koppeling aan het ontstaan van het absorptiespectrum in steratmosferen is nu snel gemaakt.

Natuurkundige achtergrond

De schaduw ontstaat doordat fotonen uit de natriumlamp door het natrium in de vlam worden verstrooid. Fotonen worden door het natrium in de vlam effectief geabsorbeerd en vervolgens in een willekeurige richting weer uitgezonden. Hierdoor is de vlam in alle richtingen fel geel. Alleen in de oorspronkelijke richting van de fotonen zijn er minder na de vlam dan ervoor, terwijl dat effect niet optreedt voor fotonen die langs de vlam gaan. We nemen op het scherm dan dus een schaduw waar.

Merk nog op dat het emissiespectrum dat je waarneemt in de vlam deels bestaat uit een echt emissiespectrum, doordat een elektron met het natrium-ion zal recombineren. Het andere deel is een verstrooiingsspectrum, door de absorptie en heruitzending van het licht van de natriumlamp.

Tips

In plaats van zout te strooien kun je ook een tot een oogje gebogen en schoongebrande paperclip in een zoutoplossing dopen en deze in de vlam houden. Je hebt dan nergens rommel.

Verder onderzoek

Je kunt met een spectroscoop meten dat de emissielijn van de lamp hetzelfde is als de emissielijn van de vlam met keukenzout.

Bij gebruik van een kaliumzout krijg je geen schaduw. Dat kun je mooi eerst door de leerlingen laten voorspellen.

Veiligheid en milieu

Er kan natriumoxide en natriumperoxide ontstaan in kleine hoeveelheden. Beide zijn irriterend.



53

MARKETING MET NATUURKUNDE



Wet van Snellius bij dik rond glas



3 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: breking, wet van Snellius, virtueel beeld

Deze demonstratie maakt een relatief onbekende toepassing van lichtbreking duidelijk: door het gebruik van dikke bierpullen of glazen flessen lijkt je meer drank voor je geld te krijgen. Je kunt dit effect verkleinen door de pul of fles onder water te bekijken. Daarna volgt afhankelijk van het niveau van de leerlingen de verklaring. De proef is geschikt als aandachtsrichter, maar bijvoorbeeld ook als (vrij lastige) controlevraag.

Nodig

Aquariumbak met water (de bak mag niet rond zijn, dat geeft ongewenste lens-effecten); bierpul of dikke glazen colafles(je); donkere vloeistof (bijvoorbeeld cola of sterke thee).



Links een foto van een bierpul gevuld met een donkere vloeistof. Goed zichtbaar is de dikte van het glas. Rechts: dezelfde pul met dezelfde vloeistof in een bak met water. Let op het schijnbare verschil in hoeveelheid vloeistof boven en onder de waterspiegel.

Voorbereiding

Zet de bak met water klaar. Het is van de exacte uitvoering afhankelijk of je de pul van tevoren al vult.

Uitvoering

Vraag eerst waarom bierpullen en glazen colaflessen eigenlijk zo dik zijn. Er komen dan ongetwijfeld antwoorden als 'voor de sterkte' of 'omdat dat stoerder is'. Dat eerste antwoord kan makkelijk ontkracht worden met een paar tegenvoorbeelden. In mijn ervaring komt er vaak ook een juist antwoord uit de groep. Dit is een zeer herkenbare context voor de leerlingen.

Laat daarna een volgeschonken pul zien met daarbij de vraag of iemand iets opvalt. Wat bij goede observatie inderdaad opvalt, is dat het glas ter hoogte van de vloeistof minder dik lijkt dan boven de vloeistof. Het lijkt alsof de vloeistof zich ook binnen het glas bevindt. Daardoor lijkt het alsof je meer vloeistof voor je geld krijgt. Dat is de echte reden voor de dikte van het glas.

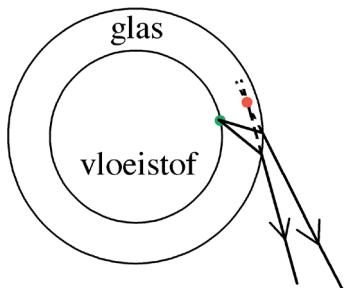
Plaats daarna de bierpul in het aquarium en het effect wordt grotendeels tenietgedaan. Voor de leerlingen is het een eye-opener eens te zien hoeveel cola/bier ze echt krijgen.





Afhankelijk van het niveau kan de docent nu de leerlingen zelf de verklaring laten geven met behulp van een tekening. Geef als tip dat een bovenaanzicht hier een heldere schematische weergave geeft. De demonstratie leent zich ook goed om in het verschil reëel-virtueel te duiken. Je kunt vragen of het waargenomen beeld van de vloeistof virtueel of reëel is.

Natuurkundige achtergrond



Schematisch bovenaanzicht van de situatie. De tekening is niet op schaal en de breking is overdreven weergegeven om het effect duidelijker zichtbaar te maken. De lichtstralen die hun oorsprong vinden op de grens van drank naar glas (in de groene stip) breken op de overgang glas-lucht. Daardoor lijkt die grens zich in het glas te bevinden ter hoogte van de rode stip.

De ribbels, uitsteeksels en andere tierelantijntjes aan het glas schijnen het effect nog te versterken. Vermoedelijk is dat het werk van onze hersenen en minder van de natuurkunde.

De reden dat het effect grotendeels wordt opgeheven onder water is het kleine verschil in brekingsindex tussen glas en water, hetgeen zorgt voor minder breking.

De proef is geïnspireerd door een YouTube-filmpje van een college van Paul Hewitt, waarin hij een colaflesje laat zien en het effect uitlegt. Hij toont dan ook een blok glas met daarin een holte met exact dezelfde vorm en grootte van een colaflesje. Vanwege het ontbreken van rondingen aan de buitenkant treedt het effect niet op. Vanuit zijn studenten komt dan de vraag wat er zou gebeuren als je een flesje onder water houdt. Hewitt neemt -uiteraard- meteen een bak en vult hem met water.





C

Bijzondere gelegenheden





54 SPECTACULAIR SPECTRUM



15 minuten

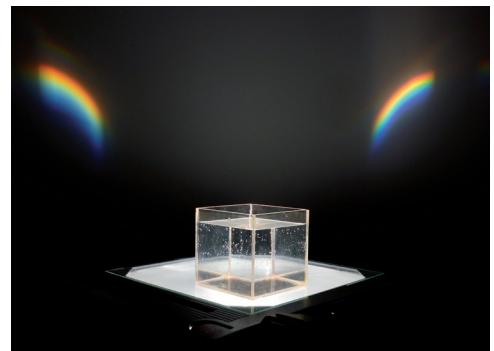
Vanaf klas 2

Begrippen: breking, breking, stralengang, spectra, kleurschifting

De demonstratie is geschikt als aandachtstrekker en als oefening in het nalopen van de stralengang in een complexe brekingssituatie.



Figuur 1. Een bak water staat op de overheadprojector.



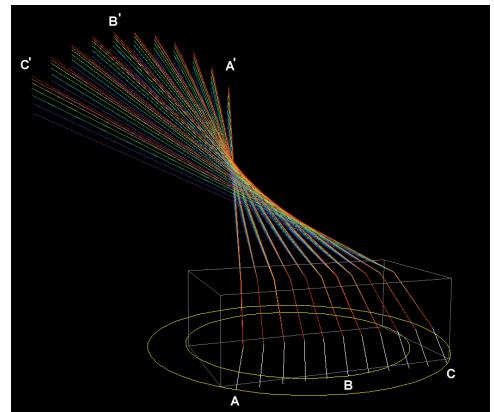
Figuur 2. De overheadprojector ietsje gedraaid: twee spectaculaire spectra.

Nodig

Ouderwetse overheadprojector (OHP) waarvan de bovenste bolle lens + spiegel is weggeklapt en alleen de fresnellens wordt gebruikt; een plastic bak (terrarium van dierenwinkel); water; enkele A4-tjes; projectiescherm of witte muur; een stuk wit karton dat de fresnellens kan bedekken.



Figuur 3. De opstelling. De regenbogen ontstaan links en rechts op de muur.



Figuur 4. De gang van de lichtstralen van punten A, B, C op het oppervlak van de projector door een blok water naar de beeldpunten A', B', C'. Zie de uitleg in de tekst.





Voorbereiding

Demonstratie klaar zetten.

Uitvoering

1. Wanneer leerlingen binnenkomen, staat het boogvormige spectrum al op de muur.
2. De docent stelt tamelijk triviale vragen. *Wat zie je? Waar lijkt het op? Wat heb je normaal nodig om kleurschifting te krijgen? Is het beeld reëel of virtueel?*
3. De docent demonstreert de stralengang bij een fresnellens door de bak water van de OHP te halen en een horizontaal wit 'scherm' (bijvoorbeeld karton) langzaam van de glasplaat van de OHP naar boven te bewegen. *Hoe lopen die lichtstralen dan?* (Antwoord: als een kegel).
4. Opdracht voor leerlingen: probeer te verklaren (a) hoe de kleurschifting tot stand komt, en (b) waarom de figuur een boog is. Alternatief: geef een werkblad met figuur 4, maar van de lichtstralen alleen A, B, en C vanaf de fresnellens tot aan de eerste breking aan de voorkant van de bak. Vraag leerlingen dan (a) te tekenen wat er met elk van de lichtstralen gebeurt en (b) daaruit de figuur als geheel te verklaren.
5. Eventuele hulp: docent laat zien dat linkerdeel van de boog van het rechterdeel van de OHP afkomstig is en het rechter deel van de boog van de linkerkant (door die delen respectievelijk even met de hand te bedekken).
6. De uitleg staat in de volgende paragraaf. Op de website www.nvon.nl/showdefysica staat een link naar een java-simulatie.

Natuurkundige achtergrond

De glasplaat van de OHP is een fresnellens die het licht convergeert naar de lens en spiegel erboven in een steile, kegelvormige stralenbundel. De lichtstralen die de bak water van opzij binnendringen komen van een smalle strook *naast* de bak en vormen onderdeel van een convergente bundel. Vergelijking van drie lichtstralen uit punten A, B, en C (figuur 4) laat zien dat B steiler is dan A en C en beeldpunt B' dus hoger op het scherm zal liggen. Verder zien we dat lichtstralen uit A en C elkaar kruisen. Dat is gemakkelijk te controleren met een strookje papier. Dek AB af en het rechterdeel van de regenboog verdwijnt, dek BC af en het linkerdeel van de regenboog verdwijnt.

Het spectrum op de muur lijkt op een regenboog maar is een ander fenomeen. De regenboog is een virtueel beeld dat ontstaat wanneer stralen na reflectie en breking in waterdruppels ons oog bereiken. De 'regenboog' van Schlichting is een reëel beeld dat op een muur of plafond kan worden afgebeeld. Schlichting (2006) heeft nog wat gerekend aan deze regenbogen, onder andere om de kromming van de rode en blauwe bogen te berekenen.

Verder onderzoek

Zie de mogelijkheid van berekeningen in het artikel *Ein Regenbogen ohne Regen* van Schlichting (2006) dat ook via internet toegankelijk is.

Dit artikel is eerder verschenen in NVOX (Van den Berg & Schweikert, 2010).

Op de site www.uni-muenster.de/Physik.DP/lit/natur.html staan behalve het artikel over dit spectaculaire spectrum ook andere aardige proeven.



55 MISTHOORN



5 minuten

Vanaf klas 3

Begrippen: frequentie, golflengte, staande golf, resonantie

Je maakt van een kartonnen koker met behulp van een bunsenbrander een misthoorn. Je berekent en meet de frequentie. Het gebruik van bunsenbrander en kartonnen koker brengt enig risico mee. Je moet ook even testen waar je de koker moet houden. Vandaar een demonstratie. Deze is ook geschikt voor een open dag.

Nodig

Kartonnen koker (diameter ongeveer 8 cm; lengte ongeveer 80 cm); bunsenbrander; metalen gaasje; frequentiemeter.

Voorbereiding

Knip van het metaalgaas een rondje dat net iets groter is dan de binnendiameter van de koker. Knip het gaasje aan de randen in en duw het in de buis zodat het klem zit. Bepaal experimenteel de beste plaats aan de onderzijde van de buis; circa 10-20 % van de buislengte is een goede indicatie. Test de opstelling, zodat je weet waar je de koker moet houden om het beoogde effect te krijgen.



De koker produceert een mooie lage toon zolang hij verticaal gehouden wordt. Leerlingen van het StadsLyceum in Groningen (Emma en Rosan) demonstreren dit op de science floor.

Uitvoering

Houd de kartonnen koker verticaal boven de vlam en laat hem langzaam zakken zodat de brander het gaasje kan verhitten. Pas als je daarna de koker weghaalt hoort je een mooie lage toon. De koker fungeert als een schoorsteen waardoorheen lucht stroomt. Het gloeiende gaasje verhit de langsstromende lucht die uitzet en een puls veroorzaakt. Hierdoor start een oscillatie met de eigenfrequentie horend bij deze kokerlengte.

In de koker ontstaat een staande golf. Deze reageert dus als een open orgelpijp met buiken ongeveer aan de beide uiteinden. Meet met een frequentiemeter de toonhoogte.

Kun je die toon veranderen: hoger of lager maken, harder of zachter maken? Wat gebeurt er met de toon als je de buis horizontaal houdt in plaats van verticaal?

Natuurkundige achtergrond

De lucht in de koker wordt door de brandende bunsenbrander in trilling gebracht. De





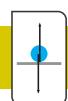
koker gaat dan als open orgelpijp fungeren met buiken aan de beide uiteinden. Met een frequentiemeter (of microfoon en IP-coach) kun je de trillingsfrequentie meten. Een koker van 80 cm geeft een frequentie van ongeveer $f = 340 \text{ (m/s)} / 2 \cdot 0,8 \text{ (m)} = 210 \text{ (Hz)}$. In de Engelstalige literatuur wordt deze demonstratie ook wel aangeduid met 'Rijke tube resonator'. In Nederland heet hij 'de buis van Rijke'. De buis kan van metaal of glas zijn, waardoor hij zelf niet branden zal, maar waarbij je bij het vasthouden meer risico loopt.



Snelle meting met iPhone FreqCounter; koker 84 cm, gaasje 10 cm van de onderzijde in de koker geschoven.

Deze proefbeschrijving is geïnspireerd door experiment 249 uit deel 5 van Patrick Walraven's *ZAVO Physics*.

BROEKZAKDEMO : NEWTON'S EERSTE



Glas water (of een munt, of ander object, liefst een breekbaar object) op een droog blaadje A4-papier. Trek het geheel langzaam naar de rand van de tafel en geef dan – vlakbij de rand – een krachtige en demonstratieve ruk aan het papier. De klas schrikt, maar het glas komt tot stilstand vlakbij de rand tenzij de docent wel heel erg onhandig is of het papier onder het glas wat nat was. Verklaar met Newton's 1^{ste} wet.





56 MAGISCHE BEELDVORMING



10 minuten

Klas 3

Begrippen: beeldvorming, cilindrische lens, omkeren

Bij het begrip beeldvorming zal waarschijnlijk als eerste een verband gelegd worden met glazen sferische lenzen. Bij deze proef gebruik je een cilindrische lens. De cilinder is boven een de volgende tekst geplaatst:

DOE AAN NATUURKUNDE DOCH BEHOED U VOOR TOVERKUNST

De tekst is op een blauwe en rode achtergrond aangebracht. Wanneer je de tekst door de cilindrische lens leest, dan gedraagt de tekst op de blauwe achtergrond zich anders als de tekst op de rode achtergrond.

De proef kan voor alle leeftijden gebruikt worden. Wanneer een leerling niets van beeldvorming afweet dan kan toch bedacht worden wat in wezen de oorzaak is.

Maar wanneer een leerling ‘wel gehinderd wordt door kennis’ dan zal hij wat langer moeten nadenken.



Cilindrische lens en tekst.



Wat is hier vreemd aan?

Nodig

Een glazen buisje van ongeveer twee centimeter diameter en 30 cm lengte. Twee rubberen stopjes, water, twee terryklemmetjes, een plankje om een en ander op te monteren. Een lettertang met twee kleurenband.

Voorbereiding

Als de opstelling eenmaal gereed is, dan is er geen voorbereiding meer nodig. Wellicht het water een keer verschonen.





Uitvoering

Zoals bij elke demonstratie is het de kunst om op geen enkele manier de oplossing weg te geven. De leerlingen moeten ten eerste zien wat er vreemd is. (Alleen de 'rode letters draaien om', 'de blauwe letters blijven hetzelfde'.) Vervolgens moet er een verklaring komen. Na enige discussie ziet er wel iemand dat alle letters omkeren. Controle: leg het topje van een vinger maar tegen de onderkant van **DOE** en je ziet dat bij het beeld het topje aan de bovenkant te zien is.

Natuurkundige achtergrond

De optredende beeldvorming is die van het reële beeld. Dus het beeld ligt boven de cilinder. Want dan treedt beeldomkering op. Als de hoogte van de letters van het beeld even groot is als die van de letters van het voorwerp, dan is de voorwerpsafstand even groot als de beeldafstand. En wel gelijk aan twee keer de brandpuntsafstand.

Controleer of de brandpuntsafstand voldoet aan de formule:

$$1/f = (1/R_1 + 1/R_2) (n - 1)$$

Klopt de gezichtshoek waaronder je de tekst door de cilindrische lens kunt zien met de tekening hiernaast? Hoe groot is de gezichtshoek waaronder je de tekst nog kunt zien?

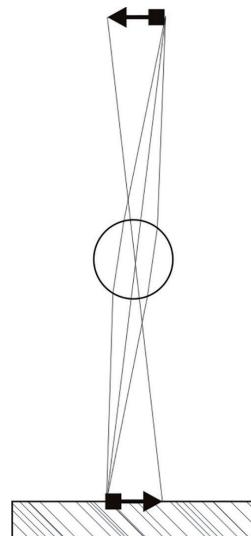
Tips

De proef leent zich voor discussie met bezoekers aan het kabinet, collega's, ouders, vriendjes.

Wie bedenkt een andere tekst of figuur die bekijken kan worden?

Verder onderzoek

Is het reële beeld te fotograferen? Kun je ook een leesliniaal gebruiken?



De cilindrische lens vormt een reëel beeld.



57 SPELEN MET DICHTHEID



10-15 minuten



Klas 2 vmbo, havo, vwo

Begrippen: dichtheid, drijven, zinken, zweven

Deze demonstratie kan worden uitgevoerd als introductie tot of als oefening met het dichtheidsbegrip. Leerlingen zien dat vloeistoffen kunnen drijven op andere vloeistoffen en dat de massa/hoeveelheid van de vloeistof daarbij geen rol speelt. Leerlingen zien ook dat vloeistoffen niet automatisch mengen (bij langzaam schenken). De gebruikte materialen zijn bekend bij leerlingen. Ook is gezorgd voor een goed kleurcontrast, zodat ook leerlingen achter in de klas het goed kunnen zien.

Nodig

Doorzichtige afsluitbare fles van ongeveer 1 L met een grote opening; ongeveer 250 g honing, ongeveer 250 mL zonnebloemolie; ongeveer 250 mL water; een kurk; een cherytomaat; een muntje; een plastic dop van een fles.

Let op! Niet iedere dop is geschikt. De dichtheid moet tussen die van water en zonnebloemolie liggen. In het voorbeeld (figuur 3) is een groene dop van een AA-flesje gebruikt. Eventueel ter aanvulling (zie tip): drie kleine maatcilinders en een weegschaal.



Figuur 1. Een fles met honing (onder), water, en olie (boven) en voorwerpen als een muntje, een kurk, een cherytomaat, en een plastic dop.



Figuur 2. Omgekeerde fles, de lagen en voorwerpen herschikken zich.

Voorbereiding

Zorg dat alle materialen binnen handbereik zijn. Drie kleine maatcilinders vullen met de drie vloeistoffen (zie tip).

Uitvoering

Hieronder staat stap voor stap de uitvoering beschreven met opdrachten en vragen die natuurlijk naar eigen inzicht kunnen worden aangepast.

1. Zorg er voor dat de grote fles leeg en schoon is.
2. Giet er ongeveer 250 g honing in.

Opdracht: *Schrijf op wat er zal gebeuren als zonnebloemolie bij de olie wordt gegoten? Schrijf ook op waarom dit gebeurt.* (ongeveer 1-2 minuten). Vervolgens even snel enkele antwoorden langslopen.

3. Giet ongeveer 250 mL zonnebloemolie in de fles.

Vraag: *Wat zou er gebeuren als ik er nu water bij zou gieten? En waarom?*





4. Giet nu ongeveer 250 mL water in de fles.
Vraag: *Waarom gaat het water onder de zonnebloemolie? (of waarom blijft het niet bovenaan?)*
Vraag: *Is het de massa die groter is? Of is het iets anders?*
5. Houd een muntje boven de fles en laat het na de eerste vraag vallen.
Vraag: *Als ik dit laat vallen, waar zal het muntje stoppen?*
Vraag: *Waarom zinkt het muntje naar de bodem?*
Vraag: *Wat gebeurt er als ik een kurk in de fles doe? Waar komt die terecht?*
6. Stop een kurk in de fles.
Vraag: *Wat gebeurt er als ik een tomaat in de fles doe? En waarom? Denk daarbij ook wat je al weet over een tomaat.*
7. Stop een cherrytomaat in de fles.
8. Stop een plastic dop in de fles, waar gaat die heen?
9. Sluit de fles af.
10. Draai de fles **langzaam** om, de vloeistoffen en voorwerpen herschikken zich (figuur 2).

Natuurkundige achtergrond

Door het verschil in dichtheid zullen de stoffen zich rangschikken in de fles (figuur 3) zoals schematisch is aangegeven in figuur 4. Al na enkele minuten is zichtbaar dat het water van kleur verandert. Dit komt doordat stoffen (suikers) uit de honing langzaam oplossen in het water. Hierdoor neemt de dichtheid van deze laag toe en zal de tomaat een laag omhoog gaan. Oplosbaarheid is een begrip dat leerlingen waarschijnlijk nog niet goed kennen, omdat het vaak pas na het begrip dichtheid wordt behandeld.

Tip

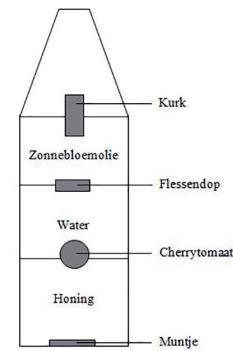
Doe gelijke (kleine) hoeveelheden van honing, water, en olie in drie maatcilinders en weeg deze. Schrijf het resultaat op het bord en verwijst er naar in de uitleg. Kan deze demonstratie nog spectaculairder worden gemaakt? Jazeker! Bekijk hiervoor onderstaande bronnen. Laat de fles enkele uren staan en laat hem dan nog een keer aan de leerlingen zien. Als het goed is, is dan een deel van de stoffen uit de honing opgelost in het water en is de tomaat dan drijven op deze 'suikerwater' laag.

Verder onderzoek

Het is mogelijk suikeroplossingen in water te maken met verschillende dichthesden. Die kun je bij gebruik van koud water (uit koelkast) netjes op elkaar leggen. Dat geeft allerlei mogelijkheden voor experimenteren met dichtheid.



Figuur 3. Foto van de fles.



Figuur 4. Schematische weergave van de verschillende objecten en vloeistoffen in de fles.

Op de site www.nvon.nl/showdefysica zijn andere voorbeelden te vinden, onder andere een handleiding (met foto) van tester Oda Warringa.



58 IMPLOSIE



15 minuten



Vanaf klas 2

Begrippen: druk, dampspanning, krachten

Je laat de kracht zien, die de buitenlucht uitoefent op een vat waarin zojuist water is verdamp. Een klassieke en spectaculaire demonstratie!

Een demonstratie omdat het vat heet is als het afgesloten wordt, omdat de krachten enorm zijn en omdat je dit soort grote vaten nu eenmaal niet in leerling-voud hebt.

Nodig

Afsluitbaar metalen vat (enigszins schoongemaakt oliedrum, een groot verfblik, een leeg frisdrankblikje); gasbrander groot genoeg om het vat te verhitten; water op kamertemperatuur; natte lap; koud water (mogelijk met ijsblokjes) en handschoenen.

Voorbereiding

Test de demonstratie, zodat je ongeveer weet hoe lang het duurt voordat het blik implodeert.

Uitvoering

Doe een klein laagje water in het blik en verwarm dit. *Wat gebeurt er met de lucht in het vat?* Laat het water enige tijd doorkoken, zodat de waterdamp de aanwezige lucht kan verdringen. Sluit het – nu hete – vat met de dop goed af. Brand je handen niet! Zet het gas uit. *Wat zit er nu in het afgesloten vat? Wat gebeurt er als de inhoud afkoelt?* Breng nu een natte doek over het vat. Bevochtig de doek ruim met koud (ijs) water.

Natuurkundige achtergrond

Het vat is gevuld met lucht en een laagje vloeibaar water. Door verhitting van het water ontstaat waterdamp. Is de stop open, dan is het vat gevuld met waterdamp en lucht bij normale druk. Je sluit het vat en koelt het af. Nu condenseert de waterdamp. Bij lagere temperatuur kan de lucht nu eenmaal veel minder waterdamp per liter lucht bevatten. De druk in het afgesloten vat is nu veel kleiner dan de druk van de buitenlucht en het vat zal van buitenaf in elkaar gedrukt worden.

Bij een robuust vat zoals een oliedrum kan het enige minuten duren voor er iets gebeurt!

Tips

De huiskamerversie van dit experiment gebruikt een frisdrankblikje. Nu is er een bak met koud water nodig en een bekerglastang. Als het water in het blikje goed is doorgekookt, pak je het met de tang op en zet het zo



Verwarmen van een blikje met een laagje water.





sneller mogelijk met de opening naar beneden in het koude water. De stop is nu niet nodig. Het blikje verfrommelt.

De docent kan een bonus geven aan leerlingen die een filmpje van hun eigen imploderende frisdrankblikje kunnen laten zien.



Verfrommeld blikje.

Op YouTube staan verschillende filmpjes over dit verschijnsel; bijvoorbeeld:
www.youtube.com/watch?v=c5_ho2sc0fc.

BROEKZAKDEMO : LONGITUDINALE EN TRANSVERSALE GOLF LATEN ZIEN MET EEN RIJ LEERLINGEN



Stel 6 leerlingen op voor de klas, netjes op een rij met onderling gelijke afstanden. Laat de eerste leerling een stapje doen in de richting van de volgende leerling en weer terug. Op het moment dat de eerste leerling nadert, wordt de tweede ook iets weggeduwd, enzovoorts langs de rij. Zo plant een longitudinale storing zich voort langs de rij. Vervolgens laten zien met slinky. De transversale golf krijgen we door de eerste leerling een stap naar voren en vervolgens naar achteren te laten doen. De tweede volgt net ietsje later, enzovoorts. De storing plant zich voort langs de rij. Ook deze vervolgens met slinky illustreren en beslissen in hoeverre je ingaat op de details van de onzichtbare afstotende en aantrekkende elektrische krachten in een atoomrooster van een vaste stof. Als vervolg eventueel andere representaties in applets van PhET en andere.



59 VALLENDE KAARS



5-10 minuten



Vanaf klas 4

Begrippen: warmtetransport door stroming, drijven en zinken, gewichtloosheid, verbranding

Het verschijnsel in de proef combineert verbranding met kracht en beweging op een verrassende manier. De proef duurt enkele seconden, aardig is vooral het voorspellen wat er gaat gebeuren en het vinden van een verklaring.

Nodig

Waxinelichtje; grote doorzichtige pot met deksel; druppel lijm; lucifers.



Voorbereiding

Lijm het waxinelichtje op het deksel van de pot. Oefen een paar keer met het laten vallen en weer oppangen van de pot. Leerlingen moeten al weten hoe drijven en zinken in zijn werk gaan en wat warmtetransport door stroming inhoudt. De verklaring van de proef berust op die principes, op een niet voor de hand liggende manier.

Uitvoering

Predict

Steek het waxinelichtje aan en draai de pot op het deksel (de pot staat op zijn kop). De leerlingen kunnen vast vertellen dat het lichtje al gauw uit zal gaan, en dat klopt. Maar wat zal er gebeuren als je de pot met brandende waxinelichtje optilt, en laat vallen?

Waxinelichtje in een gesloten pot.

Zal de vlam feller gaan branden, onveranderd blijven, of juist minder fel branden? En waarom verwacht men dat? Neem wat tijd om de voorspellingen en bijbehorende verklaringen te inventariseren. Probeer het dan uit.

Observe

Draai als de vlam uit is de pot van het deksel. Steek het waxinelichtje weer aan, laat een stevigvlammetje opkomen. Draai de pot weer op het deksel, houd hem hoog voor je, en laat hem vallen. Een stukje van een halve meter is voldoende, vang hem dan weer op.

De vlam is uit gegaan. Veel sneller dan eerder, dus niet omdat er onvoldoende zuurstof is. Waarom dan wel?

Explain

Bespreek welke van de voorspellingen is of zijn uitgekomen. Evalueer de gegeven verklaringen. Leg zo nodig uit wat natuurkundigen er van denken.





Natuurkundige achtergrond

Voor het branden van de vlam is een voortdurende aanvoer van zuurstof nodig.

Valt die weg dan stopt de verbranding meteen. Staat het waxinelichtje op tafel, dan wordt de lucht nabij de vlam heet, zet uit zodat de dichtheid afneemt, en stijgt op. De druk bij de vlam neemt af, en nabije zuurstofrijke lucht wordt door de omringende atmosfeer richting vlam geduwd.

De nettokracht op de hete lucht is het verschil tussen het gewicht van die hete lucht en de opwaartse kracht, veroorzaakt door omringende koude lucht. Die opwaartse kracht is gelijk aan het gewicht van eenzelfde volume aan omringende koude lucht. Kortom, hete lucht drijft op koude lucht vanwege het verschil in gewicht (per volume-eenheid) tussen hete en koude lucht.

In vrije val is het gewicht van beide nul, en het gewichtsverschil dus ook. Convectie van hete lucht valt weg, de aanvoer van zuurstof dus ook.

Verder onderzoek

Zal het waxinelichtje ook uit gaan als je de pot niet laat vallen maar een stukje (rechtstandig) omhoog gooit, en opvangt voor hij naar beneden komt? Gaat een vlam scheef hangen als je ermee de bocht door gaat, en zo ja in welke richting (naar de binnen- of de buitenbocht)? Hoe reageert een vlam op afremmen en optrekken?

Tips

Om de pot rechtstandig te laten vallen hou je hem aan weerszijden vast en beweeg je je handen met de val mee. Richt het waarnemen, want het gaat snel: 'Let goed op, gaat de kaars uit bij het opvangen of al daarvoor?' Laat de pot zo nodig verder vallen, en op een kussen of in zand landen.

De vraag waarom het waxinelichtje uit gaat kan in stukjes worden aangepakt, bijvoorbeeld als volgt:

1. Een vlam heeft zuurstof nodig om te branden. Welk proces zorgt voor zuurstoftoevoer?
2. Hete lucht 'stijgt op'. Welk proces zorgt daarvoor?
3. Drijft een kurk in water als de kurk en het water in vrije val zijn? Zinkt een steen dan? Hoe groot is de opwaartse kracht bij vrije val?

Deze demonstratie is gebaseerd op experiment 62 uit deel 2 van Walravens (z.j.), ook gepubliceerd in NVOX (Walravens, 2011).



60 BALLEN IN DE LUCHT HOUDEN



3 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: stromende lucht, druk

Je zou verwachten dat de föhn het balletje in zijn luchtstroom wegblaast, maar het balletje blijft in de stroom zweven, zelfs als je de föhn een beetje scheef houdt.

Nodig

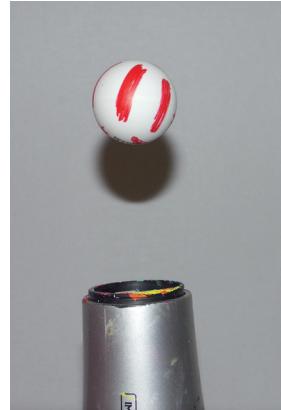
Föhn en tafeltennisballetje.

Voorbereiding

Zelf een keer uitvoeren, dan weet je hoe ver je de föhn kunt draaien.

Uitvoering

Je laat föhn recht omhoog blazen en plaatst van bovenaf het balletje in de luchtstroom. Als je nu de föhn horizontaal beweegt of kantelt zal het balletje in de luchtstroom blijven zweven.



Natuurkundige achtergrond

Het balletje is in verhouding tot de luchtstroom best wel groot. Grote ballen worden de luchtstroom ingezogen vanwege het coand -effect. Dit houdt in dat vloeistof- en gasstromen de neiging hebben om een (bol) oppervlak te volgen in plaats van een rechte lijn.
Omdat de luchtstroom aan beide kanten langs het balletje loopt blijft dit ongeveer in het midden.

Zwevend tafeltennisballetje in een luchtstroom.

Tips

Als je rode strepen (met een watervaste stift) op het balletje zet, is het draaien van het balletje ook goed zichtbaar.

Verder onderzoek

Alleen een föhn en een pingpongbal geeft volgens tester Wichard Oosterman in zijn mavo-klassen wel aanleiding tot discussie, maar niet zo'n lange. Met een compressor, een balletje en een trechter wordt de demo nog leuker. Nu zijn er vooraf wel hele leuke discussies, zowel in zowel klas 3 als 4. . Het balletje schiet tegen het plafond! Het balletje schiet wel 5 meter ver! Nee joh, daarvoor moet je druk opbouwen en dat gaat niet omdat het een trechter is

En wat gebeurt er als je de trechter op zijn kop houdt? Of een grotere en/of zwaardere bal gebruikt?

De meeste scholen hebben wel een kleine compressor bij de conciërge, voor





bijvoorbeeld fietsbanden of voor het schoonblazen van de filters van de beamers.

Tester Wichard Oosterman voerde de demo uit in 3 mavo (bij het hoofdstuk over weer, luchtstromingen en thermiek) en in 4 mavo (als extra denkstof buiten de normale lessen om).

BROEKZAKDEMO : FASE-OVERGANGEN

Alle leerlingen gaan netjes in rijen staan, atomen in een kristalrooster. De temperatuur is -273 K. Wat moeten ze doen? Helemaal stil staan? Nee, ze mogen ook bij het absolute nulpunt nog best wat wiebelen en trillen (onzekerheidsprincipe). Dan gaat de temperatuur omhoog. Wat doen de atomen? Dus wat moeten de leerlingen doen? Heen-en-weer bewegen rond een vaste plek. Dan laten we de temperatuur toenemen, de heen-en-weer beweging van de leerlingen wordt wilder. Hoe zit het bij het smeltpunt? Wat doen de atomen? Wat moeten de leerlingen doen? Geen vaste plek meer, maar door elkaar heen bewegen. Wel bij elkaar blijven. Het volume wordt nog niet echt groter. Wat gebeurt er bij verdamping? Aan het oppervlak vinden wat toevallige botsingen plaats waardoor één atoom te grote snelheid krijgt en kan ontsnappen. Dat kan alleen aan het oppervlak. Wat gebeurt er nu bij het kookpunt? In eerste benadering vliegen de leerlingen alle kanten op. Maar laten we het iets preciezer bekijken. Er ontstaan bellen van waterdamp. Hoe vertaal je dat naar het rollenspel? Lokaal ergens midden in de groep is ineens een enorme expansie. Het **samen** heen-en-weer denken tussen de atoom- en mensenrepresentatie dwingt leerlingen om aandacht te geven aan allerlei details. Hopelijk helpt dit bij het zich ruimtelijk voorstellen van atomen en hun beweging. Tot slot maken docent en leerlingen een lijstje van wat er wel klopt in de rollenspelanalogie en wat er niet klopt. Want natuurlijk zijn er aspecten die niet kloppen, zoals bij elke representatie of analogie.





61 LUCHTDRUK EN WATERDRUK



20 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: luchtdruk, waterdruk, oppervlaktespanning

Door een zakdoek giet je makkelijk water. Als die zakdoek de opening van een waterfles afsluit is hij plotseling ondoordringbaar voor datzelfde water. Zelfs als je een gaatje in de zakdoek prikt. Luchtdruk en oppervlaktespanning spannen samen om het water in de fles te houden.

Deze demonstratie bij voorkeur in het groot uitvoeren. Het risico van een waterballon blijft natuurlijk aanwezig maar vormt mede de charme van de demo.

Nodig

Katoenen zakdoek en fles (lieftst doorzichtig); eventueel een nylonkous en grote weckfles

Voorbereiding

Da's nog eens leuk: je hoeft niks voor te bereiden.

Deze demo wekt verbazing, nodigt uit tot thuis experimenteren en lukt 'altijd'.

Uitvoering

Dek de opening van af met een katoenen zakdoek. Laat zien dat je nog steeds de planten water kunt geven of een glas vol kunt gieten met de vloeistof uit de fles. De zakdoek laat water door!

Draai nu de fles met water om. Er komt misschien een beetje water uit, maar de rest blijft erin zitten. Laat aan de leerlingen zien dat er wat lucht bovenin zit de fles zit en laat zien welke vorm de zakdoek heeft.

De kolom water in de fles samen met de druk bovenin de fles zijn in evenwicht met de druk van de buitenlucht. Cohesie en oppervlaktespanning zorgen ervoor dat de zakdoek niet doorlaatbaar is voor water.

Prik een gaatje in de zakdoek. Er verandert niks. Maak het gat groter en groter...opeens breekt het wateroppervlak onderin de fles en stroomt ie leeg. Doe dit laatste deel dus vooral boven de wasbak.



Er loopt geen water weg door de zakdoek als je de fles op zijn kop houdt.



De luchtdruk duwt het papier dat de flesopening afsluit naar binnen.





Natuurkundige achtergrond

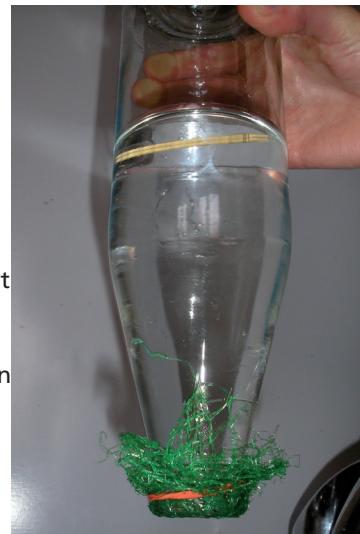
De druk van de buitenlucht is in staat een waterkolom van 10 m omhoog te houden. Voorwaarde is dan wel dat er bovenin de waterkolom 'vacuum' heerst. Bevindt zich boven de waterkolom wel lucht, dan hangt de watermassa aan die lucht en zal er daar volgens Boyle een onderdruk zijn zodanig dat waterdruk plus luchtdruk boven de waterkolom gelijk is aan de druk van de buitenlucht. Dankzij de oppervlaktespanning zorgt de zakdoek ervoor dat het wateroppervlak onderin de fles niet breekt.

Tips

De demonstratie wordt spectaculairder (en risicotoller) door hem verder te vergroten. Gebruik bijvoorbeeld een grote weckfles van 2 liter. De opening ervan maak je 'dicht' met een stukje nylonkous en een postelastiek. De fles (met nylonkous) vul je onder de kraan. De waterstraal gaat door de kous heen.

De fles op zijn kop houden is iets moeilijker, omdat ie aardig zwaar is. Ook nu blijft het water in de fles. Je kunt met een scherp voorwerp (bijvoorbeeld de punt van een schaar of een saté- prikker) gaten in de kous prikken zonder dat de fles helemaal leegloopt. Doe dit wel boven een opvangbak! Er komt steeds meer lucht bovenin de fles. Hoe groot moet het gat zijn voordat het oppervlak breekt?

Je kunt ook de opening 'afsluiten' met een nethemd (hemd met grote gaten) of een zeef. Of met een 'netje' van de uien, mandarijnen, knoflook. Bij hele wijde openingen het netje even dubbelvouwen voor gebruik. Een cocktailprikkertje er door duwen: ook nu verbreekt tijdelijk de oppervlaktespanning en er kan dan wat water weglopen, maar het meeste water blijft in de fles. Spectaculair en natuurlijk ook risicotoller.



Er loopt ook geen water weg door het netje; het netje is gewoon open: een cocktailprikkertje kan erdoor.



62 HET DRINKENDE EENDJE



25 minuten



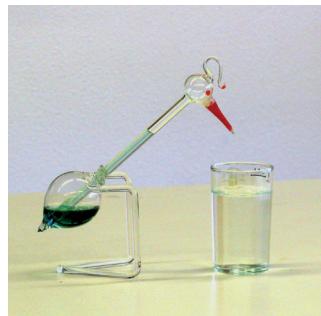
Vanaf klas 2

Begrippen: verdampingswarmte, druk, temperatuur, hefboom, slinger

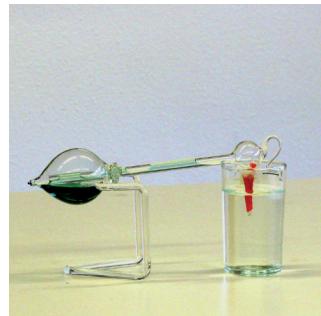
Het drinkende eendje is een – meestal glazen – vogeltje op een onderstel dat al schommelend voorover buigt, zijn snavel in een glaasje water steekt en dan weer rechtop komt. Dat herhaalt zich schijnbaar eindeloos, totdat het water op is... Damp en verzagidingsdruk komen niet meer in de examenprogramma's voor. Zonder die theorie is de werking ook te snappen. Het drinkende eendje is een erg leuke onderbreking van de leerstof, ook in de onderbouw.

Bij deze demonstratie komen aan de orde:

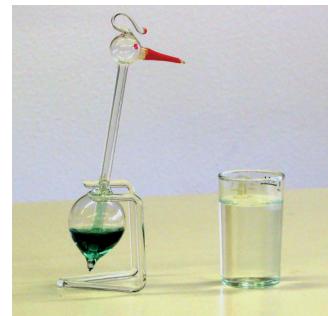
- verdampen kost energie, dus leidt tot afkoeling;
 - de druk van een gas of damp hangt af van de temperatuur;
 - de frequentie van een slinger (of schommel) hangt van de 'slingerlengte'.
- Dit glazen 'speeltje' is breekbaar en bevat een giftige vloeistof. Het is dus niet geschikt voor leerlingenhanden.



Het eendje kantelt...



...drinkt....



...en komt weer overeind.

Nodig

Een tuimeleendje; een glaasje met water van de juiste hoogte; warm water en ijs; een doorzichtige stolp of bak (waar het eendje met zijn glaasje helemaal onder kan).

Voorbereiding

Alles gereed zetten en water in het glaasje doen.

Uitvoering

Laat het eendje zijn gang gaan en vraag naar een verklaring. Goed kijken helpt! Bespreek dan welke factoren het proces en de snelheid daarvan zouden kunnen beïnvloeden.

Vervolgens kunnen die factoren geverifieerd worden door:

- het eendje stil te zetten;
- het water weg te halen (het kan uren duren voordat het vogeltje stil staat, dus dat is





hooguit geschikt als laatste experiment terwijl de les alweer verder gaat);

- het water in het glasje warm resp. ijskoud te maken;
- de stolp er overheen te zetten (met een nat doekje erbij, anders duurt het te lang).

Dan zijn er nog diverse vragen te stellen:

- welke eigenschap moet de vloeistof in het eendje hebben?
- waarom gaat hij tussen het rechtop komen en weer kantelen steeds langzamer schommelen?
- en natuurlijk: hoe lang gaat hij door?
- of: is dit een perpetuum mobile?

Natuurkundige achtergrond

De werking van het eendje is als volgt:

1. De snavel of de hele kop is bekleed met materiaal dat water opzuigt.
2. Door verdamping van het water koelen de kop en de damp daarin af; het verdampen wordt bevorderd door het schommelen.
3. Door de afkoeling condenseert er damp in de kop, daardoor daalt de druk en wordt de vloeistof in het buisje omhoog geduwd.
4. Daardoor komt het zwaartepunt steeds hoger te liggen waardoor hij steeds langzamer schommelt.
5. Tenslotte komt het zwaartepunt zo hoog te liggen dat het eendje kantelt en de kop opnieuw water opzuigt.
6. Tegelijkertijd kan er een dampbel van onder naar boven waardoor het zwaartepunt weer omlaag gaat.

Omdat het verschil tussen gas en damp niet bekend zal zijn kan bij de uitleg het verschijnsel condensatie buiten beschouwing blijven (dat is toch niet zichtbaar), en volstaan worden met de ‘verklaring’ dat de druk van een gas daalt als de temperatuur daalt.

Thermodynamisch gezien werkt deze ‘machine’ dus door het temperatuurverschil tussen de kop en het lijf. Dankzij het afkoelen van de vloeistof gaat het eendje warmte opnemen uit de omgeving. Die warmte wordt ten dele omgezet in arbeid (het opstijgen van de vloeistof en even later het weer oprichten van het vogeltje) en ten dele weer in warmte (bij het condenseren van de vloeistof in de kop komt weer warmte vrij).

Volgens Wikipedia (Engelstalig) is de warmtetoever naar het verdampende water ongeveer 0,5 W, en het mechanisch vermogen van het bewegende vogeltje ca. 50 μ W. Daarvan kan ruwweg 1 μ W ‘nuttig’ ontrokken worden, bijvoorbeeld mechanisch, met een wieltje en een ratel waarmee paperclips opgehesen worden, of met een spoeltje en een magneetje in de vorm van elektrische energie.

Tips

Voor het vinden van de verklaring is het belangrijk dat de leerlingen goed kunnen zien wat er allemaal gebeurt. Dat kan bijvoorbeeld met behulp van een camera en een scherm of digibord.

Bij de proef met het ijswater kan het eendje erg snel gaan drinken en hard met de hals tegen de rand van het glas slaan; enige vorm van bescherming is dus wenselijk.

Zonder ‘hulp’ kan het lang duren voordat de waterdamp onder de stolp of bak verzadigd is. Met een nat doekje erbij voor extra verdamping kan het binnen tien minuten zover zijn, met een heet nat doekje binnen enkele minuten. Dat hangt natuurlijk ook van de grootte van de stolp of bak af.



Verder onderzoek

Je kunt op verschillende manieren proberen het temperatuurverschil tussen de kop en de onderkant te vergroten of verkleinen, bijvoorbeeld door het eendje een veel vluchtiger vloeistof (alcohol...) voor te zetten. In dat geval is het raadzaam eerst na te gaan of de bekleding van de snavel en de kop daartegen bestand zijn.

Je kunt ook de onderkant van het eendje (het vloeistofreservoir) verwarmen door er een felle lamp op te zetten. Dan blijkt het eendje zelfs te werken zonder water, dus met een droge kop. Dat gaat prima met een diaprojector, maar met gebundeld licht van een lamp van 25 W lukt het ook al.

Het eendje schijnt ook op zonne-energie te kunnen werken, door de kop reflecterend te maken (verzilveren of aluminiumfolie erom) en de onderkant absorberend (dof maken).

Inventieve leerlingen kunnen een systeem bedenken om energie aan het eendje te onttrekken en daarmee het vermogen te bepalen. Dat zou dan weer kunnen worden gerelateerd aan de hoeveelheid verdampd water en de wetten van de thermodynamica.

Ook kan het eendje nagebouwd worden met behulp van enkele kolen, stoppen en een buisje.

Toezicht blijft daarbij altijd geboden!

Veiligheid en milieu

Het vogeltje is meestal van glas, dus breekbaar, en er zit een gevaarlijke vloeistof in. Het is dus geen speelgoed! Daarom zijn ze in Nederland alleen te koop in de leermiddelenhandel.

De vloeistof die erin zit is volgens de meeste Duitstalige websites ether, en volgens Nederlands- en Engelstalige informatie dichloormethaan of methyleenchloride.

Ether is zeer brandbaar en bedwelmd, dichloormethaan is ook brandbaar, irriterend voor de huid en carcinogeen.

Op het internet zijn veel informatie en ontelbare filmpjes te vinden. Zoektermen zijn bijvoorbeeld 'drinking duck' of 'dippy bird'.

De eendjes worden ook op diverse sites te koop aangeboden onder namen als 'Drinking Duck' of 'Dippy Bird', bijvoorbeeld: www.drinkingbirdshop.com of: www.dealextreme.com/p/novelty-dippy-drinking-bird-29233

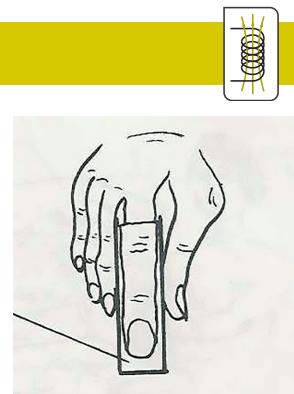
In het buitenland (bijvoorbeeld in Tsjechië) zijn ze vaak ook makkelijk te verkrijgen. Koop een zo doorzichtig mogelijk exemplaar, zodat je kunt zien wat er binnenin gebeurt.

Een uitvoerige didactische bespreking is te vinden in Kluge (1970).



BROEKZAKDEMO : BREKING

Steek je vinger in een (rond) glas water. Loop door de klas zonder iets te zeggen en beweeg je vinger steeds naar leerlingen toe en terug. Veel leerlingen zullen verbaasd zijn over de 'gezwollen' vinger terwijl ze dat toch elke maaltijd hadden kunnen zien. Verklaren van het verschijnsel met het tekenen van lichtstralen van vinger naar oog kan 10 – 15 minuten duren. Dit is dus geen 2-minuten demo, tenzij de verklaring opgegeven wordt als huiswerktaak.



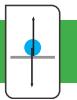
Figuur 1. Potlood achteraan in het glas, je kijkt door een cilindrische lens van water naar het potlood.



Figuur 2. Potlood vooraan in het glas, de vinger was geen gezicht, vandaar het potlood. In de klas werkt de vinger juist wel goed.



63 TOVEREN MET SLINGERS



Welke bal moet bewegen?



20 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: slingerijd, eigenfrequentie

Aan een balkje hangen vijf of zes slingers, zie figuur 1. Door het balkje om zijn as heen en weer te bewegen komen de slingers in beweging. Door de goede frequentie te kiezen kan een uitgekozen slinger sterker gaan bewegen.
Dit is een demonstratie omdat de docent duidelijk de regie moet blijven voeren over de beweging van de slingers.

Nodig

Het apparaat volgens de figuur hiernaast; voor het balkje is een stuk bezemsteel van ongeveer 70 cm geschikt. Neem als koordjes stukken van een paar mm dikte. Zorg voor een stel houten ballen met een diameter van bijvoorbeeld 7 cm. Geef alle ballen een ander kleurtje. Het balkje en de ballen worden doorboord, aan bovenkant en onderkant van het koordje komt een knoopje.

Voorbereiding

Oefen enkele malen met balkje met slingers, zodat je de goede eigenfrequentie van elke bal in de vingers hebt.

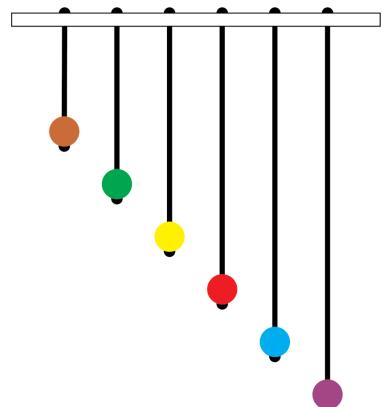
Uitvoering

Houd het balkje aan de uiteinden met twee handen vast. Houd je handen boven je hoofd, zodat de houten ballen voor je gezicht en schouders hangen. Dat is van belang opdat niet de aandacht op je handen gericht wordt, maar op de ballen.

Maak er nu een spelletje van welke bal in beweging moet komen. Vraag bijvoorbeeld een leerling om zich te concentreren op de rode bal. Ga nu met bijna onzichtbare kleine rotaties van het balkje de slinger met de rode bal in beweging brengen. Dit doe je door de eigenfrequentie van de slinger met de rode bal te kiezen.

Natuurkundige achtergrond

Elke slinger heeft zijn kenmerkende eigenfrequentie. Die is afhankelijk van de lengte van de slinger. Zelfs een bewegingsamplitude van enkele



Balkje (stukje bezemsteel) met slingers.



De rode bal komt in beweging.





.....

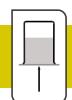
millimeter van het ophangpunt is voldoende om een grote uitslag van de slinger te genereren. mits de goede frequentie wordt genomen. Welke frequentie dat moet zijn, dat zie je gauw genoeg.

Tips

- Voor een groter gehoor is een forse uitvoering aan te bevelen. Door de flinke lengte van de slingers is de frequentie niet te hoog.
- Verwijs naar resonantievoorbeelden. Je zou een filmpje van het neerstorten van de Tacoma Narrows Bridge in 1940 kunnen laten zien; gebruik 'Tacoma Narrows Bridge' als zoekterm in Google.



BROEKZAKDEMO : LUCHTDRUK



Heeft een leerling een krant bij zich? Of misschien de docent zelf wel. Is er een meetlat of beter een latje (30 cm of meer) dat gebroken mag worden? Leg het latje zo neer dat het gedeeltelijk buiten de rand van de tafel steekt. Leg een paar krantenpagina's als een deken over het latje en strijk de lucht eronderuit. Sla dan hard op het uitstekende deel van het latje of vraag een karate-leerling om dit te doen. De krant scheurt niet, het latje breekt wel. luchtdruk natuurlijk!



64 ONZICHTBAARHEID



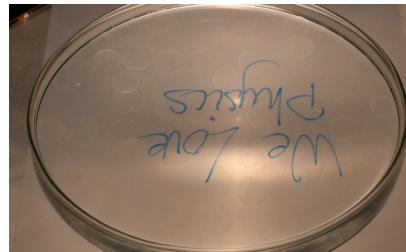
5 minuten



Vanaf klas 1

Begrippen: lichtstraal, brekingsindex, zichtbaarheid

Met deze demonstratie kun je duidelijk laten zien dat licht op een grensvlak alleen breekt als er een verschil is in brekingsindex. Je laat zien dat een materiaal met dezelfde brekingsindex nagenoeg onzichtbaar wordt, doordat een lichtstraal rechtdoor gaat.



Boven: Opstelling met een bakje gelbolletjes op de overheadprojector. Onder het bakje ligt een 'geheime' boodschap. Beneden: het resultaat op het projectiescherm.

Boven: hetzelfde als linksboven, maar nu is het bakje gevuld met water. Beneden: het resultaat op het scherm.

Nodig

Overheadprojector; gelbolletjes; glazen schaal of groot bekerglas; geheime boodschap op transparant; water.

De gelbolletjes zijn verkrijgbaar als waterabsorbeerders (bijvoorbeeld liervulling) en worden ook verkocht als vulling voor plantenpotten, bijvoorbeeld via www.gelballetjes.nl. Ze zijn op internet te vinden via zoektermen als gelbolletjes, gelballetjes of waterparels.

Voorbereiding

De gelbolletjes zijn ondoorzichtig wit en redelijk hard als je ze uit de verpakking haalt. Ze moeten eerst minimaal 24 uur in water liggen. Ze zuigen zich dan vol en worden gelachtig.





Eerst moet de overheadprojector scherp gesteld worden. Plaats daarvoor de transparant en de schaal mét water (en al dan niet met bolletjes) op de overheadprojector en stel deze scherp. Je moet de schaal met water erop zetten, omdat het water de schijnbare diepte beïnvloedt. De docent legt nu de bolletjes in een schaal zonder water en plaatst deze op de transparant met geheime boodschap op de overheadprojector. De boodschap is niet leesbaar, noch op het scherm, noch direct op de overheadprojector.

Uitvoering

De docent kan een verhaal verzinnen over geheime boodschappen die alleen zichtbaar worden onder water of iets dergelijks. Uiteindelijk giet de docent langzaam water op de bolletjes. Daardoor wordt de boodschap op het scherm langzaam zichtbaar. Daarna kan het gesprek gaan over de vraag hoe dit nu komt. Wanneer kun je een transparant object eigenlijk waarnemen en wanneer niet?

Natuurkundige achtergrond

Voorwerpen worden zichtbaar wanneer ze licht uit de omgeving afbuigen (reflectie of refractie) richting onze ogen of wanneer ze licht absorberen. De gelbolletjes bestaan voor het grootste deel uit water en hebben dus ook nagenoeg dezelfde brekingsindex als water. Daardoor treedt er op het grensvlak nauwelijks breking of reflectie op. De lichtstralen gaan rechtdoor alsof de bolletjes niet aanwezig. Daarmee zijn de bolletjes zo goed als 'onzichtbaar'.

Tips

Een alternatief dat ook goed werkt is een goocheltruc: de docent neemt één bolletje, knipt dat doormidden, plaatst beide helften in een bekerglas met 'magisch' water, mompelt iets geheimzinnigs en haalt twee hele gelbolletjes uit het glas. Je hoeft er alleen maar voor te zorgen dat de leerlingen niet zien dat je vooraf twee intacte bolletjes in het bekerglas hebt gedaan. Als je het glas een beetje blijft bewegen, dan kun je het ook gerust optillen en de nadruk erop leggen dat het gewoon water is. Een mooie serie is ook tegen het einde van de les de bovenstaande goocheltruc uitvoeren, de fysische uitleg uitvragen en dan als afsluiting van de les de demonstratie met de overheadprojector waarbij de boodschap bestaat uit iets als 'tot woensdag', 'prettig weekend' of 'succes bij de toets' (of natuurlijk het huiswerk....).

Verder onderzoek

Zie Milner-Bolotin (2012) voor tips om de gelbolletjes als goedkope vervormbare lensjes te gebruiken.

Veiligheid en milieu

De bolletjes mogen gewoon in de vuilnisbak, maar ze zijn onder water ook goed houdbaar voor de volgende keer.

Deze demonstratie is geïnspireerd door een artikel in *The Physics Teacher* (Milner-Bolotin, 2012).



65 ONTSTAAN VAN DE REGENBOOG



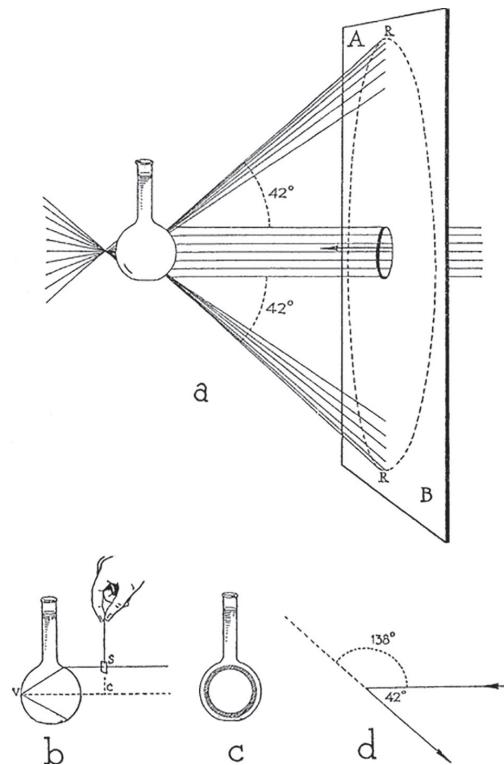
5-30 minuten



Vanaf klas 3

Begrippen: breking, gedeeltelijke terugkaatsing, stralengang, regenboog

Een bolvormige fles kan uitstekend dienst doen als een grote regendruppel, waarmee je dan het ontstaan van de regenboog en een aantal overige lichteffecten (bijvoorbeeld de bijboog) kunt demonstreren. De demo leent zich goed om het virtuele karakter van de boog duidelijk te maken. Doordat je (in de bovenbouw) steeds een nieuw gezichtspunt van de regenboog kunt aandragen, blijven leerlingen lang geboeid. Minnaert (1968) beschreef dit experiment in zijn *Natuurkunde van het Vrije Veld*, deel 1 onder nummer 121.



Figuur 1. De opstelling zoals afgebeeld in Minnaert:
a geeft het overzicht, waarbij de lamp met lens
rechts staat. b laat het experiment zien in de tekst
beschreven onder uitvoering 6a, c laat het spectrum
zien dat zichtbaar is in de druppel en d geeft de
geometrie van de regenboog weer.



Foto 1 (boven). De opstelling met lamp en
convergerende lens.

Foto 2 (onder). Het resultaat in een
verduisterd lokaal.



Nodig

Lamp; positieve lens om een evenwijdige lichtbundel te maken; plaat van hout of karton met cirkelvormig gat; bolvormige fles of rondbodemkolf (zie foto 1); eventueel een laser(pointer).

Voorbereiding

Opstelling klaarzetten, lokaal verduisteren, spectrum projecteren voordat leerlingen binnenkomen. De opstelling wordt duidelijk uit de foto's en de schematische tekening van Minnaert.

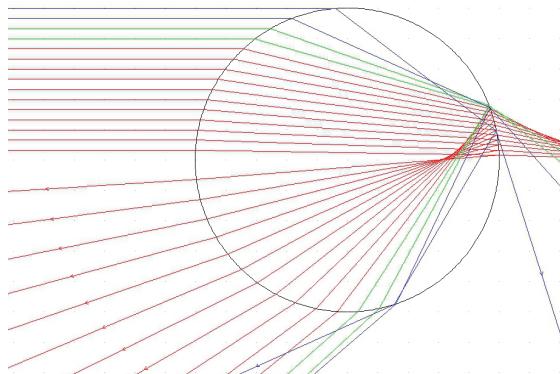
Uitvoering

1. Er zijn verschillende mogelijkheden om te starten, bijvoorbeeld: schotelt de leerlingen een aantal afbeeldingen van regenbogen voor en vraag hen om zoveel mogelijk waarnemingen op te schrijven. De opstelling leent zich goed om een aantal waarnemingen te verklaren. Op deze wijze komt er ook nog een onderzoeksvaardigheid aan bod. Een set geschikte foto's is te vinden op www.nvon.nl/showdefysica.
2. Het werkt het best om de leerlingen vervolgens om de opstelling te verzamelen aan de druppelkant (of gebruik een goede webcam).
3. De docent legt de relatie met de echte regenboog uit: de fles stelt een enkele regendruppel voor en de lamp met convergerende lens stelt de zon voor. Afhankelijk van de leerdoelen van het hoofdstuk kan de docent nog kort ingaan op de opstelling lamp-lens en vragen waar de lamp zich bevindt ten opzichte van de lens.
4. De docent zet de stralengang in een druppel op het bord. Afhankelijk van het niveau van de klas kan dat al dan niet vragenderwijs.
5. De demo leent zich goed om duidelijk te maken dat de regenboog eigenlijk virtueel is en gevormd wordt door zeer veel druppels. Daarvoor kun je een stipje zetten (met een whitebord-marker) ergens in het spectrum en vragen wat een persoon (of oog) die precies daar zou staan voor kleur zou zien. Duidelijk is dan dat je meerdere druppels naast elkaar nodig hebt om meerdere kleuren te zien. Gebruik desgewenst een applet.
6. Er zijn verschillende uitbreidings:
 - a. Je kunt aan de lampkant van het karton een deel van de bundel onderbreken. De regenboog wordt aan de andere kant onderbroken. Natuurlijk vraag je eerst een voorspelling aan de leerlingen. Dat levert een goede controle op of ze de constructie hebben begrepen.
 - b. Met een laserpen kun je laten zien dat een lichtstraal over een maximale hoek wordt gebroken. Daarvoor schijn je met een laserpointer vanaf de lamp door het gat, waarbij je in het midden begint en langzaam naar buiten beweegt, terwijl de laserpen zo goed mogelijk loodrecht door het gat schijnt. In eerste instantie gaat de stip op de plank naar buiten, maar op een gegeven moment gaat die niet meer verder naar buiten en keert zelfs om en gaat weer terug richting midden.
 - c. Binnen de cirkel is het veel lichter dan erbuiten. Dat komt overeen met waarnemingen aan echte regenbogen.
 - d. De bijboog is in deze opstelling ook zichtbaar als je de fles verder van het gat plaatst. Verrassend genoeg bevindt de bijboog zich nu binnen de hoofdboog. De verklaring staat in de volgende paragraaf.



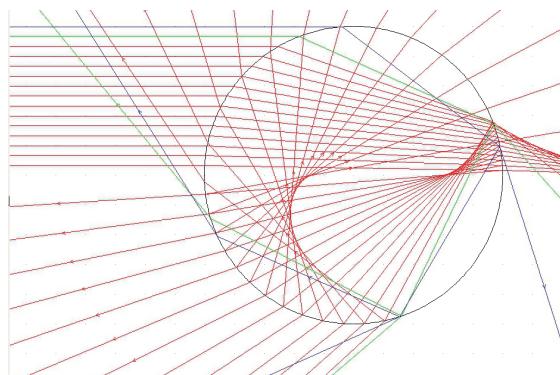
- e. In bovenbouw vwo: waarom zien we aan de rand eigenlijk een spectrum? Het experiment met de laser maakt duidelijk dat ook binnen de cirkel licht terechtkomt. Zie www.nvon.nl/showdefysica voor een verklaring.

Natuurkundige achtergrond



Figuur 2. Stralengang in de druppel voor enkele lichtstralen die één keer reflecteren en zo de primaire boog vormen. De verschillende kleuren lichtstralen in de afbeelding worden gebruikt om bepaalde lichtstralen te kunnen volgen, ze hebben geen fysieke betekenis. De regenboog ontstaat uit het gedeelte van de stralen dat bij de overgang water-lucht reflecteert (dit is dus geen volledige terugkaatsing).

In figuur 2 is de stralengang in een druppel weergegeven voor stralen die de primaire boog vormen. Uit de figuur blijkt dat de hoek tussen de intredende en uittredende lichtstraal groter wordt als we de lichtstraal vanuit het midden naar de rand bewegen (de rode stralen), vervolgens een maximum bereikt (de groene stralen) en dan weer afneemt (de blauwe stralen). Er is dus een maximale hoek tussen intredende en uittredende lichtstraal. Dit is ook precies wat we zichtbaar maken door de demo met de laser onder 6b in de uitvoering. Voor rood licht is de maximale hoek $42,5^\circ$. Voor blauw licht is die maximale hoek $40,6^\circ$. Daarmee is formeel nog niet verklaard hoe nu de kleuren van de regenboog ontstaan. Zie voor dat deel van de verklaring www.nvon.nl/showdefysica.



Figuur 3. Stralengang in de druppel voor enkele lichtstralen die twee keer reflecteren en zo de secundaire boog vormen. De verschillende kleuren lichtstralen in de afbeelding worden gebruikt om bepaalde lichtstralen te kunnen volgen, ze hebben geen fysieke betekenis.

Het ontstaan van de secundaire boog gaat ongeveer hetzelfde. In figuur 2 zijn lichtstralen getekend die twee maal intern reflecteren. Nu hebben we een *minimale* hoek tussen invallende en uittredende lichtstraal, die weer golflengte-afhankelijk is. Voor rood licht is deze ongeveer 50° . Voor alle andere kleuren zal de maximale hoek groter zijn dan 50° .

Nu kunnen we de donkere band tussen de primaire en secundaire boog, de zogenoemde band van Alexander, verklaren: er is geen uittredende lichtstraal die een



hoek tussen 42° en 50° maakt met de invalende lichtstraal.

In de besproken opstelling kun je de secundaire boog ook zichtbaar maken door de kolf iets verder van het scherm te plaatsen. De secundaire boog wordt dan zichtbaar binnen de primaire boog. Figuur 4 maakt duidelijk waarom.

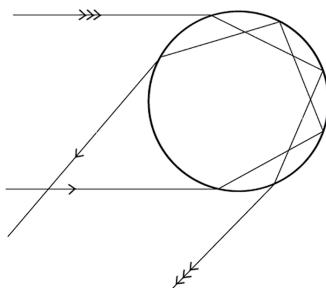
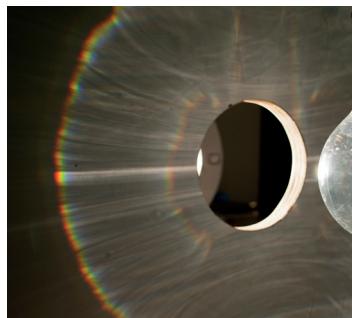


Foto 3: Primaire en secundaire boog, waarbij de tweede zich binnen de eerste bevindt. De kleuromkering is duidelijk zichtbaar. Figuur 4: de grensstralen van de primaire en secundaire boog zijn getekend in één druppel. Dichtbij de druppel bevindt de uitgaande straal van de secundaire boog zich nog binnen de uitgaande straal van de primaire boog, ondanks de grotere hoek.

Met een sterkere laser kun je de stralengang in de druppel zichtbaar maken, zie foto 4.



Foto 4: De stralengang in de druppel zichtbaar gemaakt met een helium-neon-laser. De stralengang van de hoofdboog is duidelijk zichtbaar. Op de afbeelding slecht te zien, maar in de praktijk goed waarneembaar is de stralengang die de bijdboog veroorzaakt. De stip rechts is de 'hoofdboog'. De stip links is de 'bijdboog'.

Tips

Besteed ruim aandacht aan het opstellen de eerste keer. Probeer zo mogelijk een aantal verhoudingen tussen de grootte van het gat en de fles uit. In het scheikundekabinet staan wellicht wel rondbodemkolven.

Onderdeel 6b kan ook met een bekerglas en een laserpen.

Verder onderzoek

- Soms is er bij deze demo een tweede zeer zwakke boog zichtbaar net buiten de sterke boog. Dit is echter niet de bekende bijboog. De kleurvolgorde is niet omgekeerd ten opzichte van de hoofdboog. Dit zou een effect kunnen zijn dat ontstaat door de dikte van het glas van de fles. Die levert een kleine extra reflectie op op de overgang water-glas. Deze verklaring kan worden onderzocht.
- Hoe ontstaan de strepen wit licht binnen de boog? Wie weet het antwoord?

Behalve Minnaert (1968) was ook Hermans (2009) een inspiratiebron voor dit artikel. Zie voor links en nog een paar suggesties www.nvon.nl/showdefysica



66

ONMOGELIJKE DRIEBALK EN HOLLOW FACE



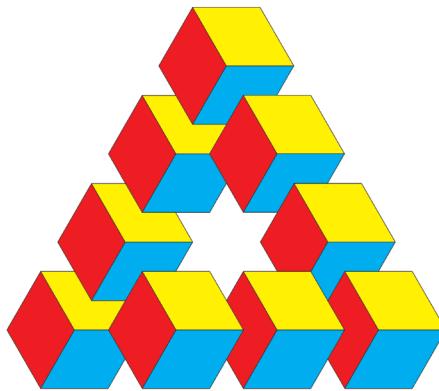
15 minuten



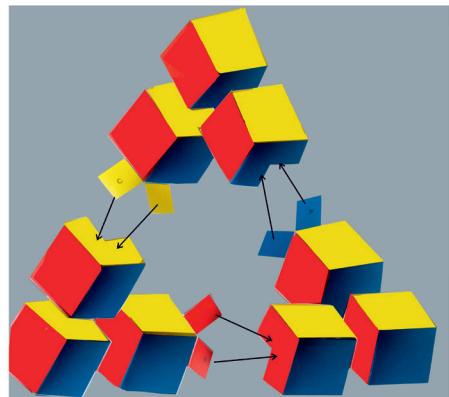
Vanaf klas 1

Begrippen: waarnemen, interpretatie

Er bestaan veel visuele illusies. Een van de beroemdste is de onmogelijke driebalk die onder andere door de graficus M. Escher veel gebruikt is in zijn werk. Door Oscar Reutervärd is de onmogelijke driebalk voor het eerst getekend met behulp van negen kubussen. Zie figuur 1. Wanneer je deze figuur een tijdje bekijkt dan zie je soms negen ‘bolle’ kubussen maar soms verspringen ze tot negen ‘holle’ kubussen. De driebalk is met behulp van een bouwplaat na te maken. Zie figuur 2. Het eindresultaat is negen holle kubussen die op enige afstand bekeken bol lijken te zijn en samen de onmogelijke driebalk vormen. Daaraan zijn een paar heel vreemde dingen te zien.



Figuur 1. De onmogelijke driebalk getekend met negen kubussen.



Figuur 2. Bouwplaten voor de negen kubussen.

Nodig

Een onmogelijke driebalk die gemaakt is met behulp van de bouwplaat die staat op www.nvon.nl/showdefysica. Daar is ook een handleiding voor de bouw te vinden.

Voorbereiding

Bouw de driebalk. Oefen de waarnemingen in verschillende omstandigheden wat belichting betreft.

Uitvoering

Laat je publiek op twee tot drie meter afstand naar de driebalk kijken. De meeste mensen zien dan geen holle kubussen, maar bolle. Draai nu de plaat om een verticale as. Eenvoudigweg met je handen. Of op een draaistoel. Dan gebeurt er iets vreemds. De kubussen lijken te draaien in tegengestelde richting. Ze draaien zelfs over een grotere hoek dan dat de plaat draait. De zes foto’s geven het effect weer.



De tegendraadse draaiing van de kubussen is te zien in deze serie van zes foto's. De onmogelijke driebalk is op een draibare bureaustoel geplaatst. Je draait de stoel.



Foto 1

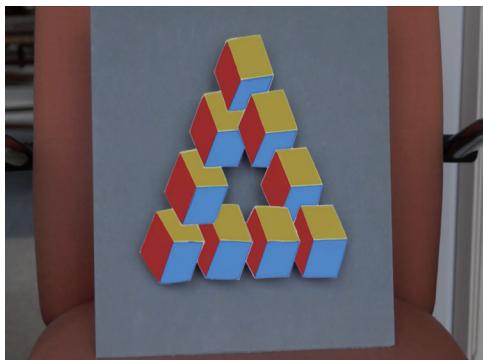


Foto 4

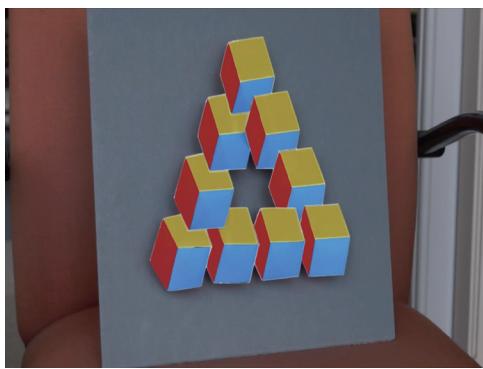


Foto 5

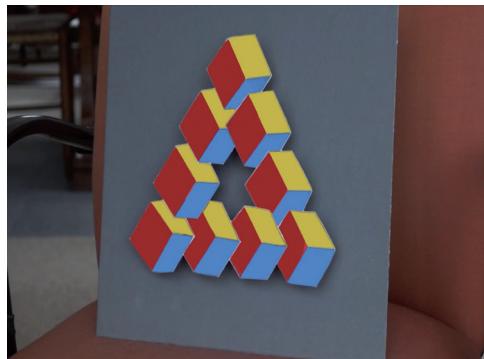


Foto 2

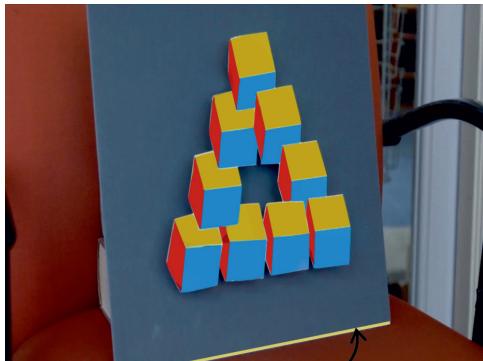


Foto 6

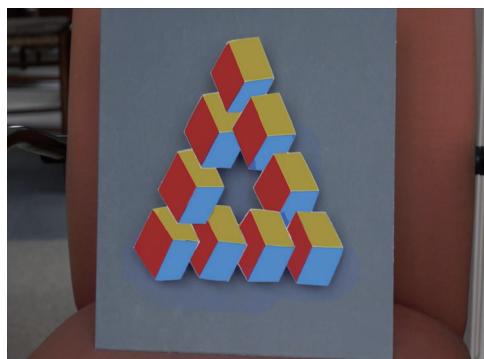


Foto 3

In de beginstand, foto 1, kijk je van rechts tegen de gele vlakken. Je zou verwachten dat bij de gegeven draaiing van de stoel er steeds minder van de gele vlakken te zien zou zijn. Het tegendeel is waar, je ziet de gele vlakken steeds meer van voren. In de eindstand, foto 6, kijk je op de gele vlakken. Heel merkwaardig: de kubussen zijn gedraaid, tegen de draairichting van de stoel in.

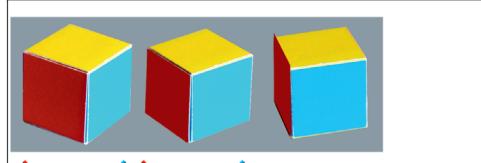


Een andere manier van waarnemen is de waarnemers zichzelf te laten verplaatsen door een paar stappen naar links en daarna een paar stappen de andere kant op te laten doen. De kubussen draaien dan met de waarnemer mee.

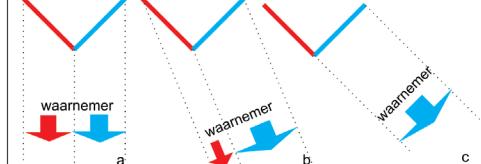
Natuurkundige achtergrond

Een van de indrukwekkendste visuele illusies van dit soort is het meebewegende hollow face. Op het internet zijn er diverse te vinden. Een van de beroemde is het holle masker van Einstein. Zie bijvoorbeeld <https://www.youtube.com/watch?v=YufBGuxi6k>. Heel sprekend is meedraaiende kop van de T-Rex, Tyrannosaurus rex, zie <https://www.youtube.com/watch?v=A4QcyW-qTUg>. Je gelooft je ogen niet! Van deze T-Rex is op internet ook een bouwplaatje te vinden, zie http://www.pontomidia.com.br/ricardo/greatweb/green_dragon.jpg

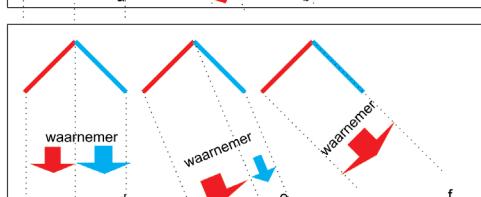
Gewone kubus
waar je rechts omheen draait.



Doorsnede van vooraanzicht.
Naarmate je verder naar rechts draait zie je minder van het rode vlak en meer van het blauwe.



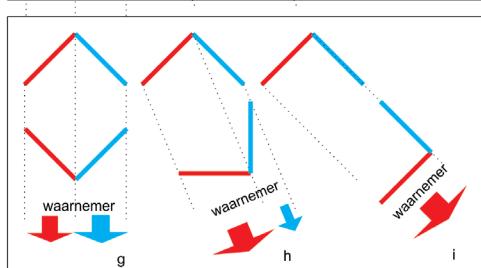
Wanneer je naar een holle kubus kijkt waar je rechts omheen draait, zie je steeds meer van het rode vlak en steeds minder van het blauwe.



Je kijkt naar een holle kubus,

maar je interpreteert hem als bol.

Wanneer je nu rechts om de kubus draait, dan zie je steeds meer van het rode vlak en steeds minder van het blauwe.
Voor de waarnemer lijkt het of de bolle kubus extra naar rechts draait.

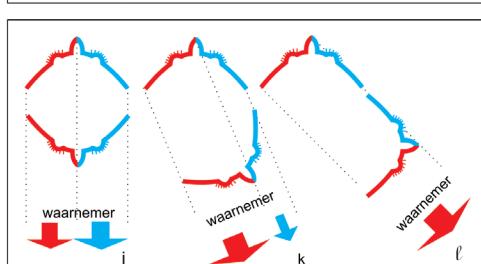


De holle kubus is nu vervangen door een hol masker,

dat je interpreteert als een bol masker.

Wanneer de waarnemer rechts om het masker draait, dan lijkt het gezicht mee te draaien, het lijkt of het masker extra naar rechts draait.

In figuur l' is de waarnemer 45°gedraaid, maar het masker lijkt 90°



Figuur 3. De draaiing van de onmogelijke driebalk verklaard.



In figuur 3 is de verklaring in een aantal stappen gegeven.

De gewone, bolle kubus. Figuren a, b en c.

Je kijkt naar een gewone, bolle, convexe kubus.

In figuur a is de kijkrichting zo, dat je een rood en een blauw vlak ziet, even groot.

In figuur b is de kijkrichting veranderd, zodanig dat je minder van het rode vlak ziet en meer van het blauwe vlak

In figuur c is de kijkrichting 45° gedraaid. Dan zie je alleen nog maar het blauwe vlak.

De holle kubus. Figuren d, e en f.

Je kijkt naar een holle, concave kubus.

In de situatie van figuur d zie je weer twee even grote vlakken.

In figuur e zie je meer van het rode vlak en minder van het blauwe

In figuur f kijk je loodrecht op het rode vlak en zie je het blauwe vlak niet meer.

De holle kubus geïnterpreerd als bol. Figuur g, h en i.

Wanneer je naar de holle kubus kijkt, kan het zijn dat je hem als normale, bolle kubus ziet. Je hersenen interpreteren het beeld alsof het geziene een normale kubus is.

De vlakken die je meent te zien moeten even groot zijn als de vlakken die je echt ziet.

Dus de vlakken van de vermeende bolle kubus moeten tussen de stippellijnen passen.

Maar dan moet de bolle kubus draaien als je als waarnemer om de holle kubus draait.

In figuur h is de vermeende bolle kubus 45° gedraaid als de waarnemer slechts $22,5^\circ$ draait.

In figuur i moet de vermeende bolle kubus 90° gedraaid zijn al de waarnemer slechts 45° draait.

Het holle masker, geïnterpreerd als normaal gezicht. Figuren j, k en l.

Wanneer je naar een hol masker van een gezicht kijkt dan interpreteer je dat automatisch als een normaal gezicht, dus bol, convex.

In de kijkrichting van figuur j zijn de rode en blauwe gezichtshelft even groot.

In de kijkrichting van figuur k zie je meer van de rode gezichtshelft en minder van de blauwe. Daarom lijkt het gezicht met de waarnemer meedraait. Sterker nog, het gezicht draait twee keer zo ver als de waarnemer.

In figuur l zie je alleen nog de rode gezichtshelft.



BEGRIPPEN IN DE DEMONSTRATIES

De nummers zijn die van de demonstraties.

A		F	
aardmagnetisch veld	25	fotoelektrisch effect	48
absorptiespectra	52	foton	48
actie-reactie	01, 43	Fraunhoferlijnen	52
arbeid	46	frequentie	55
arm	45		
B		G	
beeld	49	geluid	16
beeldvorming	56	gesloten uiteinde	50
botsing	35	gewicht	01, 40
brand	17	gewichtloosheid	59
breking	53, 54, 65	golflengte	55
brekingsindex	64		
buiging	08	H	
		halfwaardetijd	47
C		hefboom	62
camera obscura	49	helling	42
centripetaalkracht	44	hevel	05
condensatiewarmte	11		
convectie	10	I	
		impuls	33, 35
D		impulsbehoud	33
dampspanning	58	indifferent evenwicht	45
deeltjes	15	interferentie	08
deeltjesmodel	04		
diafragma	49	K	
dichtheid	14, 17, 22, 57	kinetische energie	07
diffractie	08	kracht	32, 35-38, 40, 41, 58
DNA-structuur	08		
drempelevening	48	L	
drijven	12, 57, 59	label evenwicht	45
druk	01, 02, 03, 12, 58, 60	lenswerking	56
drukverschil	12	licht(breking)	51
		lichtstraal	64
E		longitudinale staande golf	50
eigenfrequentie	50, 63	longitudinale trillingen	16
eigenschappen van materie	21	lorentzkracht	30
elektrisch vermogen	23	luchtdruk	61
elektrische geleiding	31		
elektromotor	30	M	
emissiespectra	52	magneetveld	30
energie	46	magnetisch veld	24
energiebehoud	05, 24, 33	magnetische rem	26
evenwicht	34, 36, 45	magnetisme	24
		massa	06, 40



membranen	04	T	
metaal	19	terugkaatsing, gedeeltelijk	65
modelleren	06	traagheid	44
		traagheidsmoment	07
N		transformator	23
Newton, derde wet van	43	translatie-energie	07
Newton, eerste wet van	41		
niet-metaal	19	U	
normaalkracht	44	uitzetting	22
NTC	29		
O		V	
ontbrandingstemperatuur	20	valversnelling	38
open uiteinde	50	variabele	06
oppervlaktespanning	15	veerconstante	37
opwaartse kracht	01, 13	veldwerking	25
overdruk	02	verbranding	59
		verdamping	14
P		verdampingswarmte	62
parallelschakeling	27, 28, 31	vermogen	29
perpetuum mobile	62	versnelling	32, 41, 42
piekgolf lengte	48	vervangingsweerstand	23
potentiële energie	07	verwarming	03
R		virtueel beeld	53
regenboog	65	volume	13, 14
rekenen met $Q = c.m.\Delta T$	11	volumeverandering van lucht	03
rekenen met $Q = m.L$	11	voorwerp	49
remtijd	46	W	
remweg	46	warmte	09
resonantie	16, 55	warmtecapaciteit	18
resultante	32	warmtegeleiding	18, 20, 22
S		warmtegeleidingscoëfficiënt	19
serieschakeling	27-29	warmteontwikkeling	29
slinger	62	warmtestroming	22
slingerbeweging	40	warmtetransport	59
slingertijd	63	waterdruk	61
snelheid	32, 41, 42	weerstand	28
soortelijke warmte	11	weerstand van een lampje	27
spanningsdeling	23	werklijn	45
spreiding van krachten	46	wervelstromen	26
staande golf	50, 55	wet van Archimedes	13
stabil evenwicht	39, 45	wet van Lenz	24, 26
steratmosferen	52	wet van Snellius	53
stralengang	65	wrijving	06
straling	47	Z	
stromende lucht	60	zichtbaarheid	64
stroming door verschil in dichtheid	10	zinken	12, 57, 59
stroming door verschil in temperatuur	10	zwaarte-energie	05
stroom	30	zwaartekracht	44
supermagneet	25	zwaartepunt	34, 36, 39
		zweven	57



LITERATUUR

- Balsma, E. en Frederik, I. (2007). Leer je iets van demonstraties? *NVOX* 32 (10). 448-450.
- Biezeveld, H. (2009). Meten aan een vallende slinky. *NVOX*, 34(9), 399.
- Braun, G., Tierney, D., Schmitzer, H. (2011). How Rosalind Franklin Discovered the Helical Structure of DNA: Experiments in Diffraction. *The Physics Teacher* 49, 140. DOI: 10.1119/1.3555496.
- Chiaverina, C. (2004). The simplest motor? *The Physics Teacher*, 42, 553.
- Crouch, C. e.a. (2004). Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? *American Journal of Physics* 72, 835-838.
- Dekkers, P.J.J.M. (1997). *Making productive use of student conceptions in Physics education -developing the concept of force through practical work*. PhD thesis, Vrije Universiteit. Amsterdam.
- Dekkers, P.J.J.M. & Thijss, G.D. (1998). Making productive use of students' initial conceptions in developing the concept of force. *Science Education*, 82(1), 31-51.
- Dekkers, P. & Van Rens, L. (1999). Drogen en rollen, hoe onderzoek je dat? *NVOX*, 24 (4), 171-175.
- Feynman, R.P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1963) *The Feynman lectures on Physics, Volume I* (pp. 1-2). Reading, Mass.: Addison Wesley.
- Garrett, R.M., Roberts, I.F. (1982). Demonstration versus small group practical work in science education. A critical review of studies since 1900. *Studies in Science Education*, 9, 109-146.
- Gunstone, R., White, R. (1992). *Probing Understanding*. London: Falmer Press. Chapter 3.
- Heck, A.J.P. (2012). *Perspectives on an integrated computer learning environment*. Proefschrift. Universiteit van Amsterdam.
- Hermans, L.J.F. (2009). Physics in daily life: Over the rainbow. *Europhysics News*, 40(1), 32.
- Hewitt, P.G. (2010, 2014). *Conceptual Physics* (11th/12th edition). New Jersey: Pearson Education.
- Hidden, F., Boomsma, J., Schins, A., Van den Berg, E. (2011). Hoe verwarm ik de melk voor een kopje cappuccino? Condensatielwarmte van water (met werkblad). *NVOX*, 36 (9), 434-435.
- Kagan, D. (2005). Upright Homopolar Motor. *The Physics Teacher*, 43, 68.
- Kluge, R. (1970). *Erkenntniswege im Physikunterricht*. Stuttgart: Klett.
- Lane, C.A., Burton, D.E. & Crabb, C.C. (1984). Accurate molecular dimensions from stearid monolayers. *J. Chem. Ed.*, 61 (9), 815.
- 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* (pp. 243-254). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers..
- Liem, T. L. (1987). *Invitations to science inquiry* (7e druk) p. 379. Lexington, Mass.: Ginn Press.
Het boek staat als pdf op internet, onlangs (februari 2015) nog op:
www.stmary.ws/HighSchool/Physics/home/links/techStuff/TikLiemScientificInquiry.pdf
- Millar, R. (2010). Practical work. In J. Osborne & J. Dillon (editors): *Good practice in science teaching, what research has to say*. 2nd edition (pp. 115-116). McGraw-Hill.
- Milner-Bolotin, M. (2012). Water pearls optics challenges for everybody. *The Physics Teacher*, 50(1), 144-145. DOI: 10.1119/1.3685108.
- Minnaert, M. (1968). *De natuurkunde van het vrije veld. 1: Licht en kleur in het landschap*. Zutphen: Thieme & Cie.
- Mitchell, I. (1995). Some classroom procedures. In: Baird, J.R. & Northfield, J.R. (1995). *Learning from the PEEL experience*. 2nd edition. p. 230. Melbourne, Australia: Monash University.
- Mooldijk, A.H., Woening, J. & Van der Valk, A.E. (2003). *Top angle and the speed of falling cones. Knowledge needed for student investigations*. Gepubliceerd op:
www.fisme.science.uu.nl/bps/artikelen/fallingcone.pdf.



Ogborn, J. (2012). Curriculum development in physics, not quite so fast! Keynote lecture. In: Mehmet Fatih Tasar (editor). *Proceedings of the World Conference on Physics Education WCPE 2012*. Ankara: Pegem Akademi. ISBN 978-605-364-658-7. Zie: www.wcpe2012.org.

Pring in 't Veld, S. (2007). Magical magnets. *NVOX*, 32(10), 444-445.

Schlichting, H.J. (2006). Ein Regenbogen ohne Regen. *Physik in unserer Zeit*, 37(5), 242-244. Zie: www.uni-muenster.de/Physik.DP/lit/natur.html.

Van den Berg, E. (1996). Is $\Sigma F = m \cdot a$ in de Filipijnen? *NVOX*, 22(9), 417.

Van den Berg, E. & Schweickert, F. (2010). De vier "regenbogen" van Schlichting. *NVOX*, 35(7), 314-315.

Van den Berg, E. (2011). Ik zie ik zie wat jij niet ziet.... zonnebeelden. *NVOX* 36(6), 290-291.

Walravens, P. (z.j.). ZAVO Physics, deel 1 tot en met deel 6. Uitgegeven door de auteur in samenwerking met de stichting PONTOn, <http://pontonvzw.eu>. Verkrijgbaar via ledenservice@nvon.nl.

Walravens, P. (2011). ZAVO Physics, experiment 11 en 12. *NVOX*, 36(7), 12-13.

Warren, J.W. (1979). *Understanding Force*. London: John McMurray.

Weltner, K. (1990a). Aerodynamic lifting force. *The Physics Teacher*, 28(2), 78-82.

Weltner, K. (1990b). Bernoulli's law and aerodynamic lifting force. *The Physics Teacher*, 28(2), 84-86.

Winchester, S. (2010). *Atlantic: a vast ocean of a million stories*. London: Harper.

Yap, J. & MacIsaac, D. (2006). Analysing simple electric motors in the classroom. *Physics Education*, 41, 427-431.



OVERZICHT ILLUSTRATOREN EN TESTERS

nr.	pag.	foto/illustratie	testers (behalve de auteurs)
01	20	Ed van den Berg (1b, 2b); Maarten van Woerkom (1a, 2a)	Bart Ormel
02	22	Maarten van Woerkom	Sjoerd Broekhuijsen en Ivo Hegeman; Ans Boots
03	24	Peter Dekkers	Raymond Autar
04	26	Peter Dekkers	-
05	30	Hennie Kok (1) Peter Dekkers (2)	Martijn Robben; Hennie Kok en Giedo de Groot
06	32	Ed van den Berg	-
07	34	Stefan Dekker	-
08	36	Stefan Dekker	Erik Min
09	40	Ed van den Berg (1-3); Ineke Frederik (4)	Peter Duifhuis
10	42	Ed van den Berg	Liliane Bouma en Maria Antonia Jiminez Ruiz
11	44	Herman Schalk (1); Jorn Boomsma en Frits Hidden (2)	Peter Duifhuis
12	48	Ed van den Berg (1); Jon Ogborn (2-7)	Linda Kemp
13	50	Raymond Autar	Raymond Autar; Oda Warringa
14	52	Leo te Brinke	Johan de Veth
15	54	Wim Sonneveld	Pieter Snels
16	56	Wim Sonneveld	Johan de Veth; Adriaan Kleinhout
17	58	Wim Sonneveld (2, 3); Maarten van Woerkom (1)	Pieter Snels
18	60	Wim Sonneveld	Annelies Voordendag en Edo van Dijl
19	62	Wim Sonneveld	-
20	64	Stefan Dekker	Onne Slooten
21	66	Peter Dekkers	-
22	68	Leo te Brinke	-
23	70	Leo te Brinke (1, 2); Clemens Mug (3); Maarten van Woerkom (4)	Clemens Mug
24	74	Ineke Frederik (1); Maarten van Woerkom (2, 3)	Freek Pols
25	76	Ineke Frederik	-
26	78	Ineke Frederik	-
27	80	Eline Bijker (1); Leo te Brinke (2)	Eline Bijker
28	82	Henny Tiehuis (2, 4); Maarten van Woerkom (1, 3, 5, 6)	Arjan Pruim
29	84	Stefan Dekker	Clemens Mug
30	86	Ineke Frederik (1); Maarten van Woerkom (2)	-
31	88	Wim Sonneveld (1,2); Maarten van Woerkom (3)	Kars Verbeek; Peter Duifhuis; Pieter Snels
32	90	Ed van den Berg	Koen Creusen
33	92	Ed van den Berg	Arjan Pruim; Raymond Autar
34	94	Henny Tiehuis	Freek Pols; Cornélie Huijben, Henk van den Hoorn en Rik Wegman



nr.	pag.	foto/illustratie	testers (behalve de auteurs)
35	96	Henny Tiehuis (1, 2); Maarten van Woerkom (3, 4)	Cynthia Dorrestijn, Enzo Meijer en Wouter Schutte
36	98	Maarten van Woerkom	Hans Mouws
37	100	Henny Tiehuis (1) Maarten van Woerkom (2, 3)	André Rijnberg
38	102	Ludo Koen	Bas Verschoor, Gydo Nijensteen en Yke de Vlugt; Ludo Koen en Koen Creusen
39	104	Maarten van Woerkom	Eline Huits, Kristel de Goot en Shin Long Lin
40	106	Peter Dekkers	Jan Bijker
41	108	Peter Dekkers	Freek Pols
42	110	Peter Dekkers	Annelies Voordendag en Edo van Dijl
43	112	Stefan Dekker	-
44	114	Loran de Vries (1); Maarten van Woerkom (2,3)	Martijn Robben
45	116	Leo te Brinke	Bart Ormel
46	118	Hogeschool van Amsterdam (1); Ineke Frederik (2)	Wichard Oosterman
47	120	Henny Tiehuis	Bart van Kampen, Martijn Haalboom en Rick Borger
48	122	Wim Sonneveld (1, 2, 4) Noordhoff (3)	-
49	124	Ed van den Berg (1,2) Ineke Frederik (3)	Clemens Mug
50	126	Leo te Brinke	Freek Pols
51	130	Maarten van Woerkom	Clemens Mug
52	132	Stefan Dekker	Hans Mouws
53	134	Stefan Dekker	Clemens Mug
54	138	Frank Schweickert (1, 2, 4) Ed van den Berg (3)	-
55	140	Clemens Mug	Clemens Mug
56	142	Maarten van Woerkom	Daan Egberts, Marijke Abma en René Jansen
57	144	Ed van den Berg	Eline Bijker; Niels Ran
58	146	Annika Boelen	Annika Boelen
59	148	Peter Dekkers	Benno Berendsen
60	150	Wim Sonneveld	Arjan Pruijm; Wichard Oosterman
61	152	Ineke Frederik	Bart Ormel; Ans Boots en Annelies Mulder
62	154	Leo te Brinke	Eline Bijker
63	158	Henny Tiehuis	Astrid van der Zijde, Bram Leemeijer en Rob Lammerink
64	160	Stefan Dekker	-
65	162	Stefan Dekker	Jan Bijker
66	166	Henny Tiehuis (foto's); Maarten van Woerkom (tekeningen)	-

De foto's in de broekzakdemo's zijn gemaakt door Ed van den Berg. Deze demo's zijn getest door studenten van de Noordelijke Hogeschool Leeuwarden.



OVER DE AUTEURS



Ineke Frederik (1943) heeft als lerarenopleider en vakdidacticus natuurkunde en techniek gewerkt 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.



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 Indonesia, de Filippijnen en in Nederland. Momenteel is hij lector natuur- en techniekonderwijs bij het Kenniscentrum Domein Onderwijs en Opvoeding van de Hogeschool van Amsterdam en docent vakdidactiek natuurkunde bij de lerarenopleiding van de VU. Hij was onder andere betrokken bij het project Moderne Natuurkunde en Nieuwe Natuurkunde en publiceerde ruim 300 artikelen in tijdschriften voor docenten in binnen- en buitenland.



Leo te Brinke (1954) haalde zijn MO-B natuurkunde aan de Katholieke Universiteit te Nijmegen. Sindsdien is hij natuurkundeleraar geweest op verschillende scholen voor havo en vwo, ook in het volwassenenonderwijs. Daarnaast stond hij aan de wieg van de nask- en natuurkundemethoden Scan en Pulsar, waar hij vanaf het begin tot nu in het auteursteam heeft gezeten. Bij NOT-Teleac werkte hij mee aan de videoseries 'Mijlpalen in de natuurkunde en techniek' en 'Science Bank'.



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 was medeontwikkelaar van het mechanica materiaal bij Nieuwe Natuurkunde.



Wim Sonneveld (1955) studeerde Technische Natuurkunde aan de TU Delft. Hij is docent natuurkunde sinds 1976 en later ook docent wiskunde, anw en nlt. Vanaf 2000 is hij ook lerarenopleider en vakdidacticus natuurkunde aan de TU Delft. Hij is lid geweest van de commissie NiNa die het huidige natuurkunde-examenprogramma heeft vastgesteld. Ook was hij actief in het Salvo-project en bij Getting Practical. Als auteur heeft Wim veel publicaties op zijn naam en hij is tevens eindredacteur van de natuurkundemethode Overal Natuurkunde voor de tweede fase.



Wouter Spaan (1982) heeft sterrenkunde gestudeerd aan de Universiteit Leiden. Die studiekeuze kwam vooral voort uit nieuwsgierigheid naar de wereld (en meer) om ons heen. Na zijn opleiding heeft hij ervoor gekozen om docent natuurkunde te worden. Dat bood en biedt de mogelijkheid om jonge mensen te helpen hun nieuwsgierigheid te ontwikkelen en om ze te ondersteunen bij het vervullen ervan. Na een aantal jaren in het voortgezet onderwijs werkt Wouter sinds 2011 als lerarenopleider aan de Hogeschool van Amsterdam.



Maarten van Woerkom (1944) studeerde theoretische vastestoffysica aan de Katholieke Universiteit Nijmegen. Na zijn studie was hij docent natuurkunde aan de HBS-b, havo en vwo in Almelo en Groenlo. In die periode was hij lid van de constructiegroep van eindexamenopgaven voor het vwo en aansluitend tien jaar lid de centrale examencommissie vaststelling opgaven (CEVO). Voor zijn verdiensten voor het Nederlandse natuurkundeonderwijs kreeg hij in 1994 de Minnaertprijs. Hij was een tiental jaren als vakdidacticus natuurkunde verbonden aan Universiteit Twente.



REGISTER

A

aardmagnetisch veld 76
absorptiespectra 132
actie-reactie 20, 112
activeren van leerlingen 6
activiteiten structureren 9, 10
afkoeling 40, 154
animatie 29, 51, 192
arbeid 119, 155
Archimedes, wet van 48, 50
algemene gaswet 24, 25
analogie 113
argument 16, 21, 24, 25, 82, 119, 122
arm 116
atmosferische druk 25, 31
azijn 26-29, 58

B

baansnelheid 115
bakpoeder 58
balans 20, 66, 67, 106, 107
band van Alexander 164
beeld 12, 14, 37, 91, 93, 124, 134, 138, 142, 126, 142, 143
beeldvorming 126, 142, 143
begrippennetwerk 7
begripvorming 108
Bernoulli-effect 63
bevriezen 69
biologie 25, 36
boog, secundaire 164
botsing 14, 41, 74, 75, 93, 96, 97, 99
boventoon 127
brand 24, 25, 58, 63, 88, 148, 149
brander 45, 64, 69, 84, 132, 140
breking 9, 134, 135, 139, 157, 161, 162
brekingsindex 53, 131, 135, 160
broekzakdemo 47, 61, 77, 129, 141, 147, 151, 157, 159
buiging 36, 37
buiken 127, 140
buis 12, 30, 31, 51, 60, 68, 79, 126-129, 140
buis van Rijke 141
bundelverbreden 36, 37
butaan 52, 53

C

camera 10, 14, 51, 53, 69, 78, 93, 102, 106, 131, 155
camera obscura 124, 125
cartesisch 50, 51
cartesiaans 50, 51
centripetaalkracht 114
cirkelbeweging 114, 115
condensatielwarmte 44-46
condenseren 25, 45, 146, 155
convectie 43, 149

D

damp 25, 146, 151, 154, 155
dampspanning 146
dB-meter 128
deeltjes 25-29, 57, 151
deeltjesmodel 26
demonstratie vs practicum 14, 32
denkbeeld 17, 18, 91, 108, 109
denken-delen-uitwisselen 17
diafragma 124
diaprojector 11, 12, 156
dichloormethaan 156
dichtheid 42, 43, 48, 52, 53, 58, 61, 67-69, 144, 145, 149
diffractie 36, 37
diffractiepatroon 36, 37
dippy bird 154-156
DNA-structuur 36, 37
drempelspanning 123
drijven 48, 49, 51, 144, 145, 148
drinkend eendje 154-156
druk 21-25, 31, 49, 51, 128, 146, 149-151, 154, 155
druk van de lucht 23, 93, 151, 159
drukverschil 23, 48, 49
duiker 50, 51

E

eenparig 107, 108, 115
eieren 26-29, 34
eigenfrequentie 126-128, 140
eigenschappen van materie 66
elektriciteitscentrale 71
elektrisch energietransport 70
elektrisch vermogen 70
elektrische geleiding 89



elektrische stroom	86	golf lengte	37, 122, 123, 132, 140, 164
elektromotor	86	grondtoon	127
emissiespectra	132		
energie	30, 34, 41, 46, 52, 75, 85, 92, 93, 98, 118, 119, 122, 123, 155, 156	H	
energiebehoud	30, 31, 74, 92, 93, 96	halfwaardetijd	120
energietransport	42, 70	hefboom	116, 117, 154
energieverlies	71	hefboomwet	116, 117, 154
ether	54, 55, 156	helling	34, 110, 111
evenwicht	25, 33, 66, 67, 97, 98, 104, 116, 117	hevel	30, 31
evenwichtsbalk	116, 117	Hewitt	5, 41, 119, 125, 135
explain	16, 17, 20, 24, 35, 56, 61, 62, 67, 108, 148	'holle' kubus	166
		hollow face	166
		hoogspanning	70-73
I			
F		implosie	146, 147
faseovergang	151	impuls	75, 92, 96, 97, 119
fotobusje	68	indifferent evenwicht	117
foto-elektrisch effect	48	instabiel	117
foton	122, 123, 133	interferentie	9, 12, 36
Fraunhoferlijnen	132	interpretatie	28, 34, 166
frequentie	56, 57, 122, 126, 129, 140, 154	inzicht	13, 17, 24, 109, 111, 127, 144
frequentie-analyse	129	IP-coach	141
frequentiemeter	140, 141	iPhone FreqCounter	141
frisdrankblikje	25, 79, 146, 147	K	
functie van demo's	9, 11, 111	kaars	12, 24, 25, 57-59, 64, 148
fysisch denken	7	karakteristiek	81, 123
G		Kepler	47
gas	24, 29, 50, 52, 53, 58, 59, 65, 129, 132, 146, 154, 155	Kerstboom	80
gaswet	24, 25	kijken	10, 13, 24, 27, 52, 68, 154
Gauss, kanon van	74, 75, 97	kinematica	129
gelbolletje	160, 161	kinetische energie	31, 34, 49, 98
geleiding		kleurstof	24, 27, 29, 31, 42, 48, 69
- warmte	60, 62, 64, 68, 69	knopen	127, 128
- elektrisch	85, 88, 89, 123	koken	27, 44, 53, 68, 146
geluid	9, 56, 57, 126, 127	kookpunt	53, 151
geluidsintensiteit	127	koolstofdioxide	58, 59
geluidssnelheid	127	kracht	21, 29, 49, 50, 667, 86, 91, 106-119, 146-149
gesloten uiteinde	126, 128	krachtendiagram	21, 114, 115
gewicht	20, 24, 48, 49, 106, 107, 113, 116, 149	krachtmeting	112
gewichtloos	106, 148	krachtsensor	112
giftig	154	kritisch analyseren	7
glas	57, 62, 84, 85, 131, 134, 135, 139, 165	kwalitatief	73, 80, 91, 111
gloeilamp	84, 85, 122	kwalitatieve verklaring	8
golf	57, 140, 147	kwantitatief	8, 81
- lopend	57		
- staand	140	L	
		label evenwicht	117
		lamp	71, 73, 80-85, 89, 122, 132, 133, 163





laser	9, 36, 37, 163-165	Newton, eerste wet van	108, 109, 141
lat, schuivend	94	Newton, tweede wet van	91
led	88, 89, 122, 123	Newton's cradle	75, 93, 96
leereffect	6, 13	niet-metaal	62
lens	12, 134, 138, 142, 161-163, 166	noordpool	76, 86
Lenz, wet van	74, 79	normaalkracht	95, 114
licht	9, 36, 70, 122, 124, 125, 131, 133, 139, 159-165	NTC	84, 85
lichtbreking	53, 134	O	
lichtstraal	53, 131, 135, 139, 160-165	onderzoeksvaardigheden	81, 163
lift	67	onderzoeks vraag	10, 27
longitudinale golf	57, 127, 147	onmogelijke driebalk	166
longitudinale trillingen	56	ontbrandingstemperatuur	64, 65
lorentzkracht	86	onzichtbaarheid	30, 58, 160, 161
lucht	22, 24, 25, 31, 40, 41, 51, 53, 59, 66, 67, 126, 127, 140, 146, 149, 150, 152	open uiteinde	126-128
luchtdruk	150, 152, 159	oppervlaktespanning	54
luchtkolom	126, 128	optrekken	109, 149
luidspreker	57, 126-128	opwaartse kracht	20, 21, 48-51, 66, 67
M		orgelpijp	140, 141
magneet	74-79, 86, 87, 112, 113	oscillatie	140
magnetisch veld	12, 74, 76, 86	oscillogram	129
magnetische dipool	76	oscilloscoop	126-128
magnetische energie	75	overdruk	22, 23
magnetische rem	79	overzichtelijkheid opstelling	10, 80, 100
marketing	134	P	
massa	16, 21, 32-35, 49, 61, 67, 97, 106-109, 144	panfluit	128
materie	26, 29, 66, 106	Pascal	50
membranen	26	parallelschakeling	71, 80, 82, 83, 88
metaal	49, 62, 78, 89, 140	PEOE	16
meting	17, 81, 91, 107, 109, 112, 113, 125, 127, 141	paperclip	100, 112, 113, 133, 155
microfoon	126-128, 141	perpetuum mobile	155
middelpuntzoekend	115	PET-fles	50
Minnaert	124, 125, 162, 163, 165	piekgolf lengte	123
misconcept	63, 113	POE	16-18, 52, 56, 68, 80, 108
model	7, 9, 14, 16, 26, 28, 32, 40, 53	potentiële energie	31, 34, 35
modelleren	32, 33, 111	predict	13, 16, 20, 24, 34, 56, 60, 62, 66, 108, 148
momentenschijf	116, 117	pretpark	107
motiveren	6, 11, 16, 17	projectietechnieken	12
N		R	
natuurwetenschappelijk denken	7, 19, 37	radioactief verval	120, 121
natuurwetenschappelijke vaardigheden	7, 19, 37	reflectie	9, 130, 131, 139, 161, 165
netadapter	70, 73	regenboog	139, 162-165
nettokerkt	67, 90, 91, 149	rekenen	36, 37, 44, 45, 61, 72, 81, 93, 110, 125, 139
Newton, derde wet van	21, 112	remtijd	118, 119
		remweg	118, 119
		resonantie	57, 77, 126-128
		resultante	90, 91



rollenspel	47, 147, 151	translatie-energie	34, 35
röntgendiffractie	36	trekkraft	91, 108, 109
Rutherford-experiment	61		
S		V	
samendrukbaarheid	50	variabele	32, 33
schaduw	12, 124, 132, 133	veerconstante	100, 101
schakeling	71, 72, 80-84, 88, 123	veerunster	20, 21, 49, 107, 108
schakelschema	81, 84	veldwerking	76
scheidingstransformator	88, 89	verandering van richting	78
schommelen	106, 107, 154	verbranding	24, 25, 148, 149
serieschakeling	80, 82-84	verdampingswarmte	47, 53, 154
slinger	96, 114, 115, 154	verifiëren	9, 35, 80, 81, 154
slingerbeweging	106	verklaren	7, 8, 10, 14, 17, 21-31, 35, 40, 48, 65-69, 74, 78, 80, 81, 83, 86, 92, 99, 117, 118, 126, 127, 132-134, 139, 143, 148, 150, 155, 164, 165
slingertijd	96, 97	verlies	71, 72, 75
smelten	12, 60, 62, 69	vermogen	70-72, 82-85, 155, 156
snelheid	13, 17, 33, 35, 74, 75, 90, 91, 96, 97, 107-111, 119, 123	versnelling	90, 102, 103, 108, 110, 111
Snellius, wet van	134	verstrooiing	132, 133
soortelijke warmte	42, 43, 45, 61	vertraging	78
spankracht	115	vervangingsweerstand	70, 71, 80, 81
spanning	14, 23, 70-73, 80-83, 88, 109, 122, 123	vervoermiddel	90, 91, 102
spanningsdeling	70	verwaarloosbaar	108, 109, 111
spanningsmeter	12, 71, 81, 89, 122	verwarmen	24, 43, 45, 69, 84, 85, 146, 156
spectrocoop	132, 133	virtueel beeld	134, 135, 139, 163
spectrum	5, 9, 122, 132, 133, 138, 139, 162-164	visuele illusie	166
spreiding van krachten	118, 119	vlam	24, 25, 56-58, 64, 65, 84, 85, 132, 133, 140, 148, 149
staande golf	127, 128, 140	vlamkleur	65, 133
stabel evenwicht	104, 116, 117	vlies	22, 23, 26-28, 50
standpunt toeschouwer	11, 94	vloeistof	12, 28, 30, 31, 49, 50-53, 59, 68, 69, 135, 144, 145, 155, 156
stearinezuur	54, 55	vloeistofspiegel	24, 25
steratmosferen	133	volume	16, 25, 49, 50, 51-55, 67, 149
stof	26, 29, 53, 146	vogeltje	154-156
stralengang	125, 138, 139, 162-165	voorspellen	13, 14, 16, 17-21, 26, 32, 35, 43, 48, 51, 57, 66, 74, 76, 79-83, 89, 92, 96, 102, 108, 121, 122, 127, 133, 148, 163
stralung	12, 37, 120, 132	voorwerp	12, 17, 34, 35, 48, 49, 67, 91, 98, 102, 106, 118, 119, 124, 125, 143-145
stromende lucht	140, 150	vuurvast	68, 84
stroming	31, 42, 43, 68, 69, 148, 151	vuvuzela	129
stroom	79, 82, 84, 86, 87, 122		
stroommeter	71, 81, 122	W	
stroomsterkte	81-85, 123	waarnemen	8, 24, 26, 52, 69, 108, 132, 149, 161, 166
supermagneet	76, 78	warmte	40-47, 53, 60-65, 68, 84, 148, 154, 155
superpositie	37		
T			



warmtecapaciteit	60
warmtegeleiding	60, 64, 68, 69
warmtegeleidingscoëfficiënt	62
warmtestroming	69
warmtetransport	68, 148
water	5, 9, 20-25, 27, 30, 31, 42-49, 51, 54, 55, 58, 60, 68, 69, 114, 115, 131, 134, 135, 138, 144-147, 154-156, 160, 161, 164, 165
waterballet	115
waterdamp	25, 146
waterdruk	152
waxinelichtje	56, 58, 148, 149
webcam	12, 22, 54, 55, 57, 77, 107, 122, 124
weegschaal	20, 21, 34, 43, 67, 90, 106, 107, 144
weerstand	70, 71, 73, 80, 81, 84, 122
weerstand van een lampje	80, 81
werkblad	9, 11, 16, 31, 44, 45, 47, 81, 108, 110, 139
werkelijkheid	26, 45, 71
werklijn	116
wervelstromen	78, 79
wisselspanning	70, 71
wrijving	13, 17, 32, 33, 91, 94, 95, 108, 109, 111

Z

zichtbaarheid	11, 53, 69, 160
zingende slang	128
zinken	48, 68, 144, 148
zonne-energie	156
zwaarte-energie	30, 75
zuidpool	86
zuurkast	19, 52
zwaarte-energie	30, 75
zwaartekracht	33, 66, 67, 103, 106, 112-114
zwaartepunt	94, 95, 98, 99, 104, 155
zweven	144, 150



183





NVON

NEDERLANDSE VERENIGING
VOOR HET ONDERWIJS IN DE
NATUURWETENSCHAPPEN

De NVON is dé vakvereniging voor wie onderwijs in de natuurwetenschappen verzorgt. Een actieve vereniging. De NVON is van én voor alle docenten, toa's, docenten in opleiding in de vakken scheikunde, natuurkunde, biologie, nlt, techniek & technologie. De meeste leden werken in het voortgezet onderwijs, maar er zijn ook leden werkzaam in het basis-, het beroeps- en het 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 NVON-reeks is daar een voorbeeld van.

Wil je meer weten over het lidmaatschap en de voordelen daarvan, kijk dan op onze website: <http://nvon.nl/vereniging/leden-hebben-een-streepje-voor-lid-werft-lid-actie>. Ook kun je altijd informatie opvragen bij het secretariaat: secretariaat@nvon.nl. NVON-leden kunnen de boeken in de NVON-reeks met korting kopen via de ledenservice, ledenservice@nvon.nl.

Eerder verschenen in de NVON-reeks:

1. Practicum, ... ha fijn!
2. Evolutie in het voortgezet onderwijs
3. Ontwerpen moet je doen
4. Wereldwijde milieuveranderingen
5. Showdechemie
6. Contexten in Nieuwe Scheikunde
7. Showdechemie2
8. Ruim en evenwichtig: ordeelsvorming in de biologieles
9. Genetica in beweging: de moeite waard om te leren
10. Meer over contexten in Nieuwe Scheikunde
11. Onderzoeken en ontwerpen met 4- tot 14-jarigen

Voor meer prijs- en bestelinformatie, zie de website www.nvon.nl of mail ledenservice@nvon.nl