

Broekzakdemos



Ed van den Berg

Preface

Iets over het boek.

Contents

1. Inleiding	1
1.1 Goede demonstraties	1
1.2 Nuttige voorwerpen in de klas	2
2. Mechanica	4
2.1 Vrije val onafhankelijk van massa	4
2.2 Kunnen we onze handen versnellen met meer dan g ? Laat zien!	4
2.3 Val en luchtweerstand	4
2.4 Papieren bakjes	5
2.5 Vliegen is spelen met luchtweerstand	6
2.6 Kinematics	6
2.7 Relatieve beweging	7
2.8 Actie - reactie visualisatie oefening	7
2.9 Traagheid 1, Newton's Eerste Wet met een glas water	7
2.10 Lineaire traagheid 2 met wasknijpers	8
2.11 Lineaire traagheid 3 met een mes en een appel	9
2.12 Rotatietaagheid met stokken, een bezem, en een hamer	9
2.13 Rotatietaagheid 2 met rollen toiletpapier	10
2.14 Rotatietaagheid 3 met een draadje en een kopje of ander breekbaar object	11
2.15 Cirkelbeweging 1 met draadje en rubber dop	11
2.16 Cirkelbeweging 2 met draadje en rubber dop	12
2.17 Cirkelbeweging 3 kwantitatief	12
2.18 Horizontale worp met water	13
2.19 Horizontale worp: onafhankelijkheid van verticale en horizontale beweging	13
2.20 Horizontale worp en relatieve beweging	13
2.21 Luchtdruk met krant en lat	13
2.22 Statische en kinetische wrijving en zwaartepunt	13
2.23 Statische en kinetische wrijving en zwaartepunt	14
2.24 Wrijving 1 papier en boeken	15
2.25 Wrijving 2	15
2.26 Wrijving en warmte	15
2.27 Wrijving en normaalkracht	16
2.28 Friction and normal force 2	16
2.29 Wrijving en helling	16
2.30 Verschil tussen statische en kinetische wrijving	17
2.31 Sterkte van profielen	17
2.32 Zwaartepunt 1: laat je leerlingen het voelen!	17
2.33 Zwaartepunt 2: leerlingen geld op laten pakken van hun tenen zonder te vallen	18
2.34 Zwaartepunt 3 ongelijke leerlingen	18
2.35 Zwaartepunt 4: hamer en liniaal	19
2.36 Rotatie, zwaartepunt, stabiliteit	19
2.37 Druk en oppervlak	19
2.38 Hefboom, koevoet	20
2.39 Torsie van deuren en deurkrukken	20
2.40 Torsie en afstand van as	20
2.41 Krachtmoment 1: gestrekte arm en tas met boeken	20
2.42 Krachtmoment 2: zittend optillen van gebogen en gestrekt been	20
2.43 Veren parallel en in serie	20

2.44	Trek- en schuifspanning met een krijtje	20
2.45	Botsingen en voorkomen van schade: eieren gooien	21
2.46	Breken of niet? Beschermen van fragiele dingen	21
2.47	Bernoulli 1 met een vel papier	22
2.48	Bernoulli 2 met twee vellen papier	22
2.49	Bernoulli 3 met rietje en kaarsvlam	22
2.50	Energie conversies	23
2.51	Arbeid en kinetische energie	23
2.52	Asymmetrische eigenschappen, wrijving van menselijke haar	23
3.	Elektriciteit	25
3.1	Statische elektriciteit en balpennen, kleding, en papier	25
3.2	Statische elektriciteit en ballonnen	25
3.3	Zout en peper scheiden met een ballon	25
3.4	Plastic rietjes	25
3.5	Wet van Coulomb	26
3.6	Watermoleculen zijn dipolen	26
3.7	Stroming van elektriciteit vergeleken met water	26
3.8	Geleiders en isolatoren	26
3.9	Schakelingen met PhET	27
3.10	Rollenspel om verschillen tussen spanning, stroom, en vermogen te zien	27
4.	Light	29
4.1	Preliminary diagnostic questions on the propagation of light	29
4.2	White light and spectra with everyday objects	30
4.3	Producing colors	30
4.4	Color subtraction	30
4.5	Color addition	31
4.6	Reflection	31
4.7	Visualization of Snell's Reflection in three dimensions	31
4.8	Snell's reflection Law with a laser pointer	32
4.9	Snell's reflection Law: constructing light rays with pins	32
4.10	Refraction 1 pencil slanted in glass of water	32
4.11	Refraction 2 pencil straight up in glass of water	32
4.12	Refraction 3 arrows seen through air and through a glass of water	33
4.13	Refraction 4: Physics is Fun in the swimming pool	33
4.14	Bright versus dark background	34
4.15	Pupil, diaphragm	34
4.16	Reflection and transmission 1	34
4.17	Reflection and transmission 2	35
4.18	Accommodation of the eye	35
4.19	Depth of field	35
4.20	Lenses	35
4.21	Narrow slit diffraction or refraction?	35
4.22	Mouche volante	35
4.23	Parallax	35
4.24	Dominance of one eye	36
4.25	Seeing depth 1	36
4.26	Seeing depth 2	37
4.27	Blind spot	37

4.28	Center and sides of retina, peripheral vision	38
4.29	Optical illusions	38
4.30	Diffraction	38
4.31	OHP	38
4.32	Minnaert	38
4.33	Other	38
5.	Oscillations and waves	40
5.1	Pendulum, period, natural frequencies	40
5.2	What affects periods	40
5.3	Rulers and periods	40
5.4	Tension and pitch	40
5.5	Resonance 1 with a pendulum	41
5.6	Resonance 2 blowing a swinging book to maximum heights	41
5.7	In phase and out of phase	41
5.8	Collisions of coins	41
5.9	Visualizing a wave with students	42
5.10	Other	42
5.11	Beats, Moiré patterns	42
6.	Sound	44
6.1	Natural sounds, frequencies, timbre	44
6.2	Pitch and length 1 with a clamped ruler	44
6.3	Pitch and length 2 with a straw	44
6.4	Standing waves in a PVC tube open and closed	44
6.5	PVC pipe length and pitch	45
6.6	Measuring pitch with a telephone	45
6.7	Mobile phone and graphing sound waves	45
6.8	Resonance in a bottle	45
6.9	Resonance in a tea or coffee cup with ear	45
6.10	$v_{sound} = f\lambda$ but velocity is independent of frequency and wave length!	46
6.11	Doppler simulation with marching students	46
7.	Liquids and air	48
7.1	Liquids: Anybody with nail polish, coca cola, or something else that is liquid?	48
7.2	Floating and sinking	48
7.3	Floating and sinking	48
7.4	Adhesion in a glass of water	48
7.5	Adhesion on a penny	48
7.6	Adhesion and crumbs	49
7.7	Capillarity 1	49
7.8	Capillarity 2	49
7.9	Cohesion	49
7.10	Adhesion and cohesion	49
7.11	Floating on convex and concave surfaces	49
7.12	Chromatography	50
7.13	Air pressure and liquids	51
7.14	Air bubbles	51
7.15	Transferring air bubbles under water	51
7.16	Air occupies space	51
7.17	Carbonated drinks	51

7.18	Pressure, bubbles, straws	52
7.19	Atmospheric and liquid pressure, cohesion and surface tension	52
7.20	Projectile motion with water	52
7.21	Liquid pressure	52
7.22	Liquid pressure and free fall	52
7.23	Emptying bottles	53
7.24	Emptying beakers/glasses	53
7.25	Not free fall of stones in water	53
7.26	Liquid versus vapor balance, relative humidity, saturation, open versus closed container:	53
7.27	Bernoulli and a candle flame	53
7.28	Lift water by blowing	53
8.	Magnetism, electro-magnetic induction	56
8.1	Properties of magnets	56
8.2	Magnetizing a needle	56
8.3	Magnet in mobile phone holder	56
8.4	Compass	56
8.5	Generator 1	56
8.6	Generator 2	56
8.7	Electric motor	56
8.8	Visualizing magnetic fields in coils	57
8.9	Visualizing magnetic fields around wires	57
8.10	Visualizing the Lorentz force	57
8.11	Lorentz force in a coil	57
8.12	Magnetic brake	57
9.	Warmte en temperatuur	59
9.1	Temperatuurgevoel	59
9.2	Temperatuur optellen of niet? Intensieve versus extensieve variabelen	59
9.3	Warmte en wrijving	59
9.4	Geleiding	59
9.5	Stroming	59
9.6	111. Rollenspel smelten-verdampen-koken-condenseren-bevriezen	59
9.7	Smelten en plaattectoniek	60
9.8	Afkoelingseffect van kleine openingen	60
9.9	Afkoeling bij verdamping	60
9.10	Verdamping en condensatie	60
9.11	Verdamping en diffusie, ijking/kalibratie	61
9.12	Sublimatie	61
9.13	Energietransport: geleiding, stroming, verdamping, straling	61
9.14	Water warm houden	61
9.15	Water snel afkoelen	62
9.16	Geleiding, stroming, straling met een lucifer of aansteker	62
9.17	Kaarsen en vlammen beschrijven en vragen formuleren	62
9.18	Kaars, wat brandt er?	62
9.19	Het patroon van de temperatuur van de vlam ontdekken 1	62
9.20	Het patroon van de temperatuur van de vlam ontdekken 2	63
9.21	De producten van de vlam van een kaars	63
9.22	Voorkomen dat zuurstof bij de vlam van een kaars komt	63

9.23	Stijgend water	63
9.24	Stroming rond de vlam van een kaars	63
9.25	Stroming: Theezakjesraket	63
9.26	Geld overleeft het vuur	64
10.	Geowetenschappen	66
10.1	Baan en rotatie van de aarde visualiseren	66
10.2	Rotatie van de zon visualiseren	66
10.3	Beweging van de maan visualiseren	66
10.4	Rotatie van de maan visualiseren	66
10.5	Parallax als afstandmeting	66
10.6	Schijnbare beweging van sterren in de loop van het jaar	66
10.7	Komeet	66
10.8	Tectonische platen visualiseren; botsing tussen twee dunne oceaانplaten	67
10.9	Tectonische platen visualiseren; botsing tussen een dunne oceaانplaat en een dikke continentale plaat	67
10.10	Tectonische platen met eilanden visualiseren; aanslibbing	67
10.11	Tectonische platen visualiseren; botsing tussen twee dikke continentale platen	67
11.	Modern Physics	69
11.1	Flames and colors	69
11.2	Particle-wave duality	69
11.3	Double slit, role play of how it is NOT	69
11.4	Mass numbers of the elements	69
11.5	Rutherford experiment	70
11.6	Big bang and Hubble 1	70
11.7	Big bang and Hubble 2	70
11.8	Big bang and Hubble 3	70
11.9	Hidden dimensions in string theory	70
References		72

1. Inleiding

Stel je krijgt ineens een ander lokaal toegewezen, of je moet onverwachts invallen. Je hebt geen demonstratieapparatuur mee en vind jezelf in een kaal lokaal en het cabinet is op een andere verdieping. *Wat kun je dan toch doen om een inspirerende les te geven met concrete voorbeelden?*

We gaan uit van wat er in een standaard lokaal aanwezig is, tafels, bord, krijt, ramen, stoelen, leerlingen, en de inhoud van broekzakken en tassen van leerlingen. Kun je dan toch demonstraties doen? Ja, heel veel zelfs. De aard van de demonstraties varieert.

Sommige zijn om iets experimenteel te bewijzen, maar de meeste zijn bedoeld om verschijnselen te laten zien en te koppelen aan vakbegrippen en heen-en-weer te denken tussen verschijnselen en begrippen. Er zijn ook enkele rollenspelen voor als leerlingen moeilijk stil kunnen zitten, of juist slaperig zijn, of wanneer de docent gewoon even iets heel anders wil doen.



Figure 1.1: Je hebt weinig materialen nodig om en aantal goede natuurkundedemonstraties te doen

1.1 Goede demonstraties

De didactische regels voor demonstraties zijn natuurlijk:

- Zichtbaarheid (of hoorbaarheid of andere zintuigen);
- Een duidelijk leerdoel, ook als je hoofddoel entertainment zou zijn en dat is legitiem, dan moet het kenniselement toch duidelijk gearticuleerd worden;
- Rekening houden met typische leerling denkbeelden (misconceptions) en die productief gebruiken in het onderwijsleergesprek;
- Betrokkenheid, dus activerende didactiek zoals individueel voorspellen wat er gebeurt, of in tweetallen een verklaring zoeken, of een demo kiezen die leerlingen zelf als activiteit op de eigen tafel kunnen doen;
- Details en hoofdzaken scheiden, bijvoorbeeld door details simpel weg te laten of uit te stellen tot na de hoofdboodschap.

Je kunt je natuurlijk afvragen of dit soort broekzak demonstraties nog nodig zijn nu elk lokaal een beamer heeft en je de YouTube demo's zo van het internet kan plukken. Ik denk dat het zelf ervaren van natuurkunde via demo's en practicum met dagelijks leven

verschijnselen toch iets anders is dan tv kijken en dat zowel YouTube als broekzakdemo's een eigen rol hebben in het leerproces.

1.2 Nuttige voorwerpen in de klas

De standaardvoorwerpen in een kaal lokaal zijn pennen, papier, leerlingen, boeken, stoelen, tafels, zakdoeken, etc. Daarnaast is het handig altijd het volgende beschikbaar te hebben: een glas voor water, een rietje, een ballon, een kaars/theelichtje met aansteker/lucifers, een touwtje of schoenveter, een liniaal, een paar munten, enkele PVC-buisjes met verschillende lengte, een neodymium magneet, een laser pointer of zaklamp, een spinning disc voor additief mengen van kleuren.

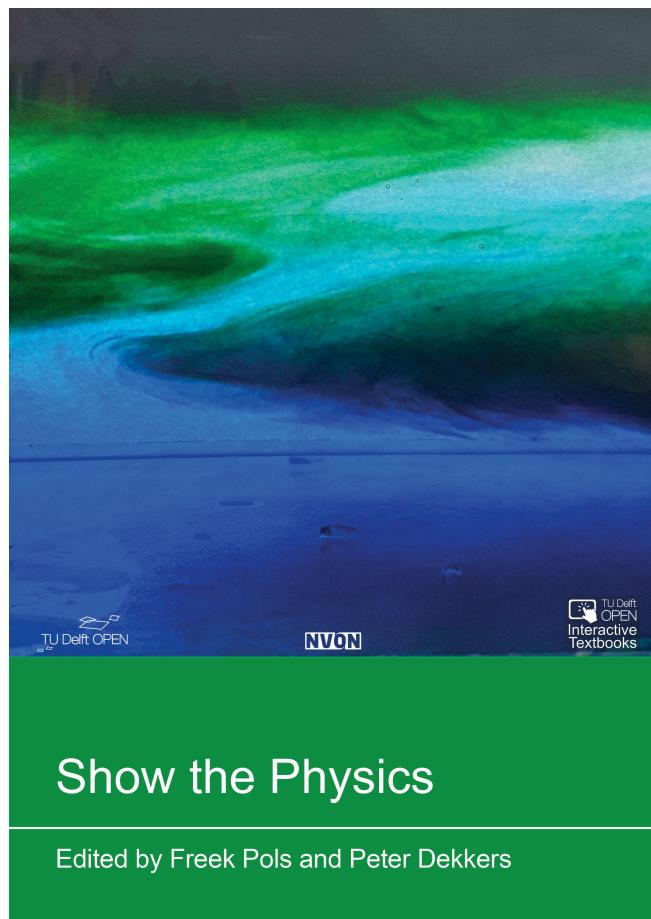


Figure 1.2: Zoek je naar meer en gevorderdere natuurkundedemonstraties met uitgebreide tips voor de opstelling en interactie met de studenten? Kijk eens naar Show the Physics, een online open access boek met 99 natuurkundedemonstraties.

2. Mechanica

2.1 Vrije val onafhankelijk van massa

Neem een grote en een kleine steen, of een 5 cent en een €2 munt, of breek een krijtje in een klein en een groot stuk en houd deze tussen duim en vingers zo dat de onderkant op dezelfde hoogte is. Vraag leerlingen te voorspellen (met een reden) welk steentje het eerst de grond zal raken als beide tegelijk worden losgelaten. Laat vallen en herhaal tot iedereen het eens is over de observatie (zien èn horen). Verklaar. Voor een gedetailleerde beschrijving in PEOE-format, zie Showdefysica (Frederik et al, 2015, p16-18).



Figure 2.1: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.2 Kunnen we onze handen versnellen met meer dan g? Laat zien!

Stel de vraag, laat leerlingen antwoorden, goede kans dat ze interessante voorstellen hebben voor een experiment. Eenvoudig, houd je hand vlak met een steen erop of een ander voorwerp, beweeg de hand dan snel naar beneden. De steen of het andere voorwerp is langzamer, er is ruimte tussen de steen en de hand. Leerlingen kunnen dit nadoen op hun stoel met een willekeurig voorwerp. Zorg ervoor dat de hand alleen naar beneden wordt versneld en niet eerst naar boven.

2.3 Val en luchtweerstand

Laat een blad papier vallen, dat valt langzaam en fladdert. Maak dan een prop, deze valt sneller, maar net ietsje langzamer dan een steen. Neem vervolgens een dubbelgevouwen A4, leg het op een boek en laat het geheel vallen (figuur). Papier en boek komen tegelijk aan, zelfs als je van het papier een dakje vouwt en er lucht onder zit. We hebben die vacuümbuis met een veertje en een stukje lood helemaal niet nodig! Je moet wel de opbouw van je onderwijs-leergesprek met leerlingen goed doordenken, hoe betrek je ze optimaal in voorspellen en verklaren?



Figure 2.2: Kun je een vel papier net zo snel laten vallen als een boek?

2.4 Papieren bakjes

Van een half A4, is het gemakkelijk een rechthoekig bakje te vouwen en vast te nieten. Voeg de ongebruikte stukje papier toe in het bakje om precies de massa van 1/2 A4 te hebben. Een vel papier dwarrelt naar beneden. Een bakje valt vrijwel vanaf de start netjes met constante snelheid. Het is mogelijk hier een onderzoek van te maken, wat is de invloed van massa en doorsnede van het bakje op de valtijd? Een eerste benadering kan zijn de formule $t = \frac{h \cdot A}{m}$. Deze voorspelt dat verdubbeling van hoogte h of doorsnede A zou resulteren in een verdubbeling van de valtijd t . De massa kun je gemakkelijk verdubbelen door twee bakjes in elkaar te vouwen. Ook de doorsnede van het bakje (het oppervlak dwars op de valrichting) is gemakkelijk te variëren. Als je denkt dat de dwarsdoorsnede evenredig is met de tijd, laat dan het bakje met A van twee keer zo hoog vallen, tegelijk met het bakje met $2A$ (maar zorg voor gelijke massa). Dan zouden ze tegelijk aan moeten komen. Is dat ook zo? Voor massa blijkt te gelden dat t evenredig is met $m^{-0.5}$ in plaats van met m^{-1} . Zie Frederik et al Showdefysica (2015, p32-33) voor een volledige beschrijving. Een vroege versie van dit experiment is te vinden in Eric Roger's beroemde boek *Physics for the Inquiring Mind* Rogers (2011, pg.167).



Figure 2.3: Welk bakje is sneller?



Figure 2.4: Zou luchtweerstand evenredig zijn met v^2 in plaats van v ? Als dat zo zou zijn, dan komen de bakjes in de figuur niet tegelijk op de grond.



Figure 2.5: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.5 Vliegen is spelen met luchtweerstand

Er is altijd papier in je eigen tas of in tassen van leerlingen. Vliegtuigjes vouwen en uitproberen. Er zijn veel suggesties op internet. Lang-kort, wijd-smal, gebruik van staartvleugel of niet, uiteinden van de vleugels omvouwen, etc. Er zijn zelfs wereldwijde competities.



Figure 2.6: Flying is playing with air resistance

2.6 Kinematics

Loop voor de klas:

- met constante snelheid,
- met een hogere snelheid,
- versneld en vertraagd,
- stoppen en starten.

en laat leerlingen positie – tijd en snelheid – tijd diagrammen schetsen. Natuurlijk had je een bewegingssensor en computer klaargezet moeten hebben, maar je was te laat. Geen nood, het lopen en schetsen gaat zeker zo goed. Zodra leerlingen schetsen, loop langs, ontdek hun moeilijkheden met de taak en reageer direct individueel of plenair. Heerlijk om te doen want progressie is zeer zichtbaar. Lopen met constante snelheid, lopen met achtereenvolgens twee verschillende snelheden, stilstaan. Lopen heen-en-terug waarbij leerlingen vaak langs dezelfde grafieklijn terug willen, maar dat is terug in de tijd! Het kan ook omgekeerd, geef een grafiek en vraag een leerling die te lopen met instructies van klasgenoten. Zie literatuurverwijzing Berg et al (2000) voor details of vraag een kopie bij de auteur. Tip: leerlingen moeten direct schetsen en niet hun tijd verdoen met een volmaakt coördinatenstelsel tekenen.

2.7 Relatieve beweging

Leerling A loopt met constante snelheid rustig voor de klas van links naar rechts en leerling B loopt met hogere constante snelheid, haalt A in. *Wanneer B naast A is, zijn de snelheden dan gelijk of verschillend?* Rare vraag zult u denken, maar er is een wijdverbreid misconcept dat op het moment van inhalen niet alleen de posities maar ook de snelheden gelijk zouden zijn. In een Amerikaanse rechtszaak over een verkeersongeval werd deze mening zelfs door de rechter verkondigd. Mocht blijken dat geen enkele leerling dit fout doet, dan doet u deze demo nooit meer.

2.8 Actie - reactie visualisatie oefening

Rek een stuk elastiek uit, kracht van vinger op elastiek is kracht van elastiek op vinger. Let op, actie en reactie werken altijd op verschillende voorwerpen! Daarom wil ik ook dat leerlingen krachten labelen als $F_{vingeropelastiek}$ and $F_{elastiekopvinger}$. om duidelijk de twee betrokken objecten te onderscheiden. Je kunt ook twee leerlingen voor de klas zetten, handen op elkaar en duwen maar op de plaats blijven (statisch): actie = - reactie. Vervolgens duwen totdat een leerling in beweging komt. Hoe zit het dan met actie=-reactie oftewel, is nu $actie = -reactie$ of $F_{leerling_Aopleerling_B} = -F_{leerling_Bopleerling_A}$? Dat geldt nog steeds, maar om te zien waarom een leerling in beweging komt, moet je alle krachten op die ene leerling optellen. Voor leerling A is dat dus: $F_{leerling_Aopleerling_B} + F_{wrijvingvloeropleerling_B}$. Bedenk dat die $F_{wrijving:vloeropleerling_A}$ tegengesteld gericht is aan de $F_{leerlingBopleerlingA}$ en dus uiteindelijk een min-teken krijgt. Maar als leerling A het niet houdt, dan is het vaak een kwestie van omver geduwd worden. Dan spelen ook krachtmomenten een rol. Als 14-jarige won ik ooit een touwtrekwedstrijd van sterkere en zwaardere jongens door mijn zwaartepunt dicht bij de grond te houden, ik kon minder gemakkelijk omvergetrokken worden en had zowel handen als voeten op de grond om wrijving te vergroten.

2.9 Traagheid 1, Newton's Eerste Wet met een glas water

Glas water (of ander object, breekbare objecten hebben de voorkeur) boven op een vel droog papier. Trek het papier langzaam naar de rand van de tafel. Merk op dat het glas gewoon mee gaat en zich niet verzett tegen een constante snelheid. Geef dan, vlakbij de rand, plotseling een ruk. Het glas blijft staan. Wat leerlingen vreesden, gebeurde niet tenzij de docent echt erg onhandig is of de onderkant van het glas nat is. Het glas verzett

zich tegen de plotselinge versnelling traagheid (inertia)! Traagheid is weerstand tegen versnelling, niet tegen snelheid. Eventueel vervolgen met een YouTube met gedekte tafel en tafelkleed. Nog mooier als je dat echt in de klas doet. Ruud Brouwer liet zijn leerlingen dit thuis doen met prachtige filmpjes voor klasgenoten.



Figure 2.7: Een vel papier en een glas of beker zijn altijd beschikbaar.



Figure 2.8: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.10 Lineaire traagheid 2 met wasknijpers

Scheur een stukje papier zoals in Figure 9. Kan ik door aan beide uiteinden tegelijk een rukje te geven het middenstuk helemaal los maken? Wat moet ik veranderen om dat wel te kunnen? Het blijkt dat als het middenstuk verzwaard wordt met een paar flinke paperclips, dan lukt het wel, dan heeft het middenstuk genoeg inertia (bron: Ruud Brouwer).

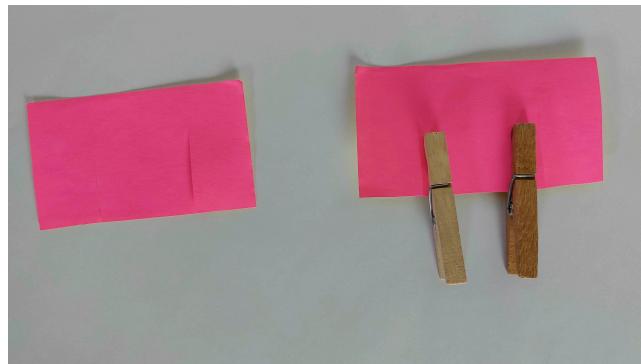


Figure 2.9: Wat extra massa in het midden geeft voldoende traagheid om beide uiteinden tegelijk te scheuren.



Figure 2.10: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.11 Lineaire traagheid 3 met een mes en een appel

Steek een mes een stukje in een appel zodat de appel aan het mes blijft hangen (zowel mes als appel kun je van leerlingen lenen). Timmer dan met een hard voorwerp op het lemmet van het mes. Je verwacht de appel van het mes te vallen, maar het mes gaat er juist dieper in, de appel komt niet in beweging, traagheid! Voor een grote groep: neem een meloen of pompoen en een broodmes. Voor de uitleg, traagheid is weerstand tegen versnelling. Denk aan Newton's tweede wet: $?F=m.a$. Die massa is weerstand tegen versnelling, bij dezelfde kracht krijg je voor zwaardere voorwerpen een veel kleinere versnelling. In de bovenbouw kun je de analogie van deze formule laten zien met $U = R.I$ in elektrische schakelingen.

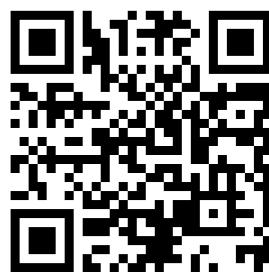


Figure 2.11: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.12 Rotatietraagheid met stokken, een bezem, en een hamer

Zet een balpen rechtop op je hand en probeer die rechtop te houden. Lukt niet. Vind nu ergens in het lokaal een bezemsteel of bezem of meetlat of aanwijsstok. Zet die rechtop op je hand en probeer die rechtop te houden (figuur). Dat lukt heel goed. Hoe langer het voorwerp, des te gemakkelijker het gaat. Het voorwerp verzet zich tegen een rotatieversnelling, er is rotatie traagheid. Als er dan ook bovenaan nog een gewicht zit (bv. bezem op zijn kop of hamer), dan is het nog makkelijker te balanceren. Hoe langer

het voorwerp, hoe verder het zwaartepunt van het contactpunt met de hand, des te groter de rotatietraagheid. Als je een hamer hebt, steel onder en hij is gemakkelijk te balanceren. Steel boven en metalen kop onder, dan is het moeilijk. Rotatietraagheid staat niet in het curriculum, dat is geen reden om het niet te demonstreren! Rotatietraagheid is meestal geen onderdeel van de syllabi, maar dat is geen reden om het niet te demonstreren! Bron: mijn vroegere student Alfredo Guirit, nu docent in Tagbilaran, Bohol, Philippines.



Figure 2.12: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.13 Rotatietraagheid 2 met rollen toiletpapier

Met een volle rol toiletpapier, rol af de lengte die je nodig hebt, geef een ruk en het is los. Met een bijna lege rol, rol af de lengte die je nodig hebt, geef een ruk, en je krijgt een veel te lang stuk want de rol rolt door. De volle rol heeft een grotere weerstand tegen versnelling, een grotere rotatietraagheid. Waarschijnlijk kun je het toiletpapier voor demonstratie even lenen van de school, rol op een stokje, en klaar voor de demo. Nu heb je met rollen los op een stokje niet de wrijving tegen de muur die bij de volle rol wat extra mee helpt. Dus wel even oefenen in het heel snel een ruk geven.



Figure 2.13: Wat gebeurt er als je een ruk geeft aan elk van de toilettrollen ?

2.14 Rotatietraagheid 3 met een draadje en een kopje of ander breekbaar object

Maak nu de opstelling van Figure 14, een simpel bosje sleutels of beter een breekbaar kopje, een touwtje (bv. schoenveter), en een vinger of pen/potlood als as. Aan de andere kant van het touwtje een minder zwaar object (een schroef, een losse sleutel, wat dan ook). Vraag een voorspelling, als ik dit loslaat, wat gebeurt er dan? De docent acteert onzekerheid en vrees. Zou dit wel goed gaan? Dan, loslaten! Het tegengewicht wordt versneld en windt zich om het potlood. Dat doet de wrijving van touw/draad en potlood zozeer toenemen dat het kopje of de sleutels niet meer vallen. Voor een breed publiek gewoon vertellen wat je ziet. Een discussie staat op de volgende site met ook verwijzing naar een American Journal of Physics artikel voor een complete wiskundige behandeling.



Figure 2.14: Daday klaar om haar beker veilig te laten vallen.



Figure 2.15: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.15 Cirkelbeweging 1 met draadje en rubber dop

Met de opstelling van Figure 16, kunnen we de eigenschappen van cirkelbeweging onderzoeken. Terwijl de stopper in cirkels ronddraait, gaan we de draad doorknippen vlak boven de paperclip. Teken een cirkel op het bord en laat leerlingen zelf de cirkel tekenen en hoe de stopper weg zal vliegen na het doorknippen. Dan uitvoeren en doorknippen op het moment dat de stopper van de leerlingen weg beweegt. De stopper beweegt langs de raaklijn aan de cirkel, NIET loodrecht op die raaklijn! Zodra het touwtje is doorgeknipt, werken er in het horizontale vlak geen externe krachten meer op de stopper en beweegt de stopper dus in een rechte lijn, langs die raaklijn dus. Verticaal is er wel de zwaartekracht. De beweging wordt dus een parabool in een vlak verticaal door de raaklijn.

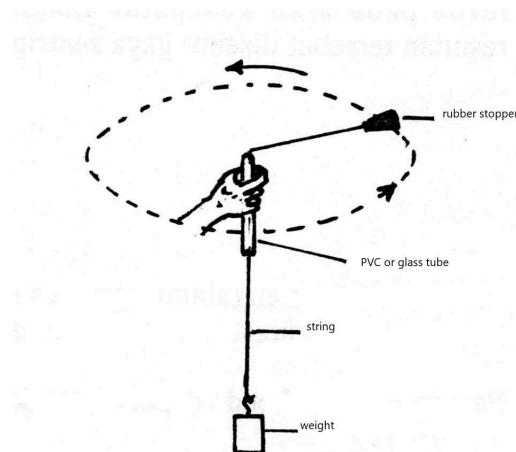


Figure 2.16: Demonstratie van cirkelbeweging met een draad, een pvc buis, een rubber dop, en gewichtjes.

2.16 Cirkelbeweging 2 met draadje en rubber dop

Gebruik de set-up Figure 16, laat zien wat er gebeurt met de snelheid van de stopper wanneer de straal van de cirkel vergroot of verkleind wordt (trekken onderaan de draad). Laat ook zien wat er gebeurt met de snelheid wanneer er gewichtjes worden toegevoegd terwijl je probeert de straal constant te houden.

2.17 Cirkelbeweging 3 kwantitatief

Het is mogelijk de cirkelbewegingdemo kwantitatief te maken en de formule $F = \frac{mv^2}{r}$ te demonstreren door de snelheid van de rubber dop te berekenen door meting van de periode T met een stopwatch of videometren met een mobiel. Zorg ervoor de variabelen F en r onafhankelijk van elkaar te varieren door respectievelijk r en F constant te houden.



Figure 2.17: Freek Pols voert de demo uit

2.18 Horizontale worp met water

Gooi een willekeurig voorwerp horizontaal weg, de baan ziet er parabolisch uit. Eventueel herhalen. Neem dan een willekeurige plastic fles, geleend van leerlingen of van jezelf? Maak aan de zijkant onderin een gaatje, welke baan beschrijft de vloeistof die eruit sputt? Gebruik ice tea of een andere gekleurde vloeistof, dat vergroot de zichtbaarheid. Als de vloeistof geleend is van een leerling, kosten vergoeden!

2.19 Horizontale worp: onafhankelijkheid van verticale en horizontale beweging

Mijn vrouw Daday, ook natuurkunde docente, maakte een slim apparaatje om te laten zien dat de verticale versnellingen van een vallende en een weggeschoten muntstuk hetzelfde zijn. Buig een geschikt stukje blik over een liniaal (zie figuur). Een vrij vallende munt en een op hetzelfde moment horizontaal weggeschoten munt bereiken de vloer op hetzelfde moment. Gewoon luisteren naar gelijktijdige aankomst.

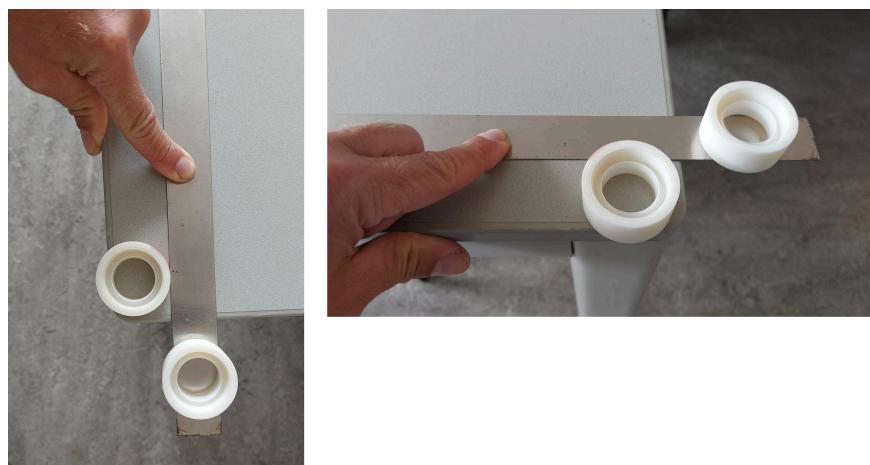


Figure 2.18: Buigen van de liniaal en laten gaan lanceert de ene munt horizontaal en laat de andere verticaal vallen.

2.20 Horizontale worp en relatieve beweging

Loop met constante snelheid terwijl je een krijtje of ander voorwerp loodrecht omhoog gooit. Het landt op je hand, niet erachter. Dus had het in de lucht dezelfde horizontale snelheid als de docent. Er was al een horizontale startsnelheid. Bij balsporten spelen richting en grootte van de beginsnelheid een grote rol, bijvoorbeeld bij een voetballer die probeert een corner tussen de palen te krijgen zonder de bal eerst te stoppen.

2.21 Luchtdruk met krant en lat

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

2.22 Statische en kinetische wrijving en zwaartepunt

Neem een meetlat, aanwijsstok, of iets soortgelijks of zelfs een bezemsteel. Balanceer die horizontaal op beide wijsvingers (figuur). Beweeg vervolgens de wijsvingers naar elkaar toe. Zonder enige controle door de docent (eventueel met blinddoek) zal er steeds maar een wijsvinger tegelijk verschuiven, eerst de een, dan de ander, dan weer de een totdat de

wijsvingers elkaar uiteindelijk raken precies onder het zwaartepunt van de lat. Het experiment kan eenvoudig samen met de leerlingen herhaald worden. Ze vinden vast wel iets bruikbaars in hun tas. De uitleg: wanneer een vinger verschuift zal een toenemend deel van het gewicht van de lat juist op die bewegende vinger rusten terwijl de vinger richting zwaartepunt schuift. De wrijving op die vinger neemt toe, de beweging stokt, en dan begint de andere vinger te schuiven. Het proces blijft zich herhalen tot dat beide vingers aanlanden in het zwaartepunt. Een interessante variatie is als een kant van de lat verzuaid wordt, bv met een bordenwisser of willekeurig ander voorwerp. Ehrlig (1994) beschreef 34 experimenten met liniaalen zowel kwalitatief als kwantitatief, varierend in niveau van primair tot hoger onderwijs.



Figure 2.19: scan the QR code to open the link or click [here](#) to open the link.



Figure 2.20: Finding the center of mass can be done (and predicted) using various materials.

2.23 Statische en kinetische wrijving en zwaartepunt

Neem een meetlat, aanwijsstok, of iets soortgelijks of zelfs een bezemsteel. Balanceer die horizontaal op beide wijsvingers. Beweeg vervolgens de wijsvingers naar elkaar toe. Zonder enige controle door de docent (eventueel met blinddoek) zal er steeds maar n

wijsvinger tegelijk verschuiven, eerst de n, dan de ander, dan weer de n totdat de wijsvingers elkaar uiteindelijk raken precies onder het zwaartepunt van de lat. Het experiment kan eenvoudig samen met de leerlingen herhaald worden. Ze vinden vast wel iets bruikbaars in hun tas. De uitleg: wanneer een vinger verschuift zal een toenemend deel van het gewicht van de lat juist op die bewegende vinger rusten terwijl de vinger richting zwaartepunt schuift. De wrijving op die vinger neemt toe, de beweging stokt, en dan begint de andere vinger te schuiven. Het proces blijft zich herhalen tot dat beide vingers aanlanden in het zwaartepunt. Een interessante variatie is als een kant van de lat verzuaid wordt, bv met een bordenwisser of willekeurig ander voorwerp. Ehrlig (1994) beschreef 34 experimenten met linialen zowel kwalitatief als kwantitatief, vari rend in niveau van primair tot hoger onderwijs.



Figure 2.21: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.24 Wrijving 1 papier en boeken

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



Figure 2.22: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

2.25 Wrijving 2

Als leerlingen echt even een time-out van denken moeten hebben, laat ze dan de pagina's van twee boeken om en om in elkaar leggen. De boeken kunnen niet uit elkaar getrokken worden, wrijving! Bekend is natuurlijk de ideale versie van deze proef waarin je twee telefoonboeken in elkaar vlecht met pagina's om en om en met een handvatconstructie. Twee sterke mensen kunnen die boeken niet uit elkaar trekken, maar dat is geen broekzak demo meer.

2.26 Wrijving en warmte

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

2.27 Wrijving en normaalkracht

Leg een boek op de tafel en duw het over de tafel. Laat leerlingen het ook proberen. Maak dan een stapel boeken (geleend van leerlingen) en duw weer. Het gaat veel moeilijker, je moet veel harder duwen. Wrijving heeft dus iets te maken met het gewicht van de boeken. Leerlingen kunnen op de eigen tafel meedoen, ze hebben vast wel veel boeken in hun tas. Als de normaalkracht al ter sprake is geweest, hoe groter die normaalkracht des te groter de wrijving (wrijving tussen boek 2 en 3 is: $F=\mu_N = \mu \cdot mg = \mu \cdot (m_1+m_2)g$) Zo'n formule kun je dus gemakkelijk even laten voelen!

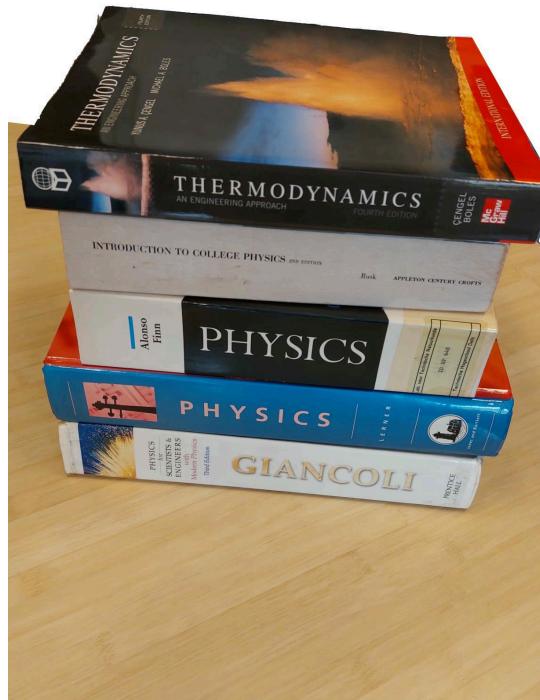


Figure 2.23: Wat gebeurt er wanneer je horizontaal duwt tegen een van de boeken?
Maakt het uit waar dat boek is in de stapel?

2.28 Friction and normal force 2

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

Friction between the 2nd and 3rd book is 2x friction between 1st (top) and 2nd as friction is proportional to the normal force.

2.29 Wrijving en helling

Zet de docenttafel of een leerling tafel schuin door iets aan een kant onder de poten te leggen of laat een leerling een kant optillen. Leg iets ronds op de tafel, leen bv wat snoep van een leerling, de docent kan het later opeten. Het ronde object (bv. Pepermunt of een Euro of een knikker) beweegt versneld van de tafel af. Leg een boek op de tafel. Het blijft liggen. Wat zorgt ervoor dat het boek blijft liggen? Til een kant van de tafel iets hoger. Het boek blijft nog liggen. Is de grootte van de wrijving nog steeds hetzelfde? Zet de tafel

nog schuiner, nu begint het boek te bewegen. Waarom? Maak verschil tussen *actuele* wrijving ($mg \sin(\alpha)$) en *maximale* wrijving ($(\mu_N = \mu_s mg \cos(\alpha))$? De docent kan zelfs illustreren hoe wrijvingscoefficienten worden bepaald door de hoek te meten waarbij het boek gaat schuiven $\mu_{statisch} = \tan(\alpha_s)$ waar α_s de hoek is waarbij het boek begint te schuiven en dynamische wrijving met $\mu_{dynamisch} = \tan(\alpha_d)$ waarbij α_s de hoek is waarbij het boek met constante snelheid schuift als het al in beweging is. Dynamische wrijving is kleiner dan statische. Zie ook de volgende elastiek demo.

2.30 Verschil tussen statische en kinetische wrijving

Tas aan slap elastiek over de tafel trekken, dat gaat schoksgewijs. De maximale wrijving bij een voorwerp in rust is groter dan wanneer het in beweging is, dus zodra de statische wrijving overwonnen is, schiet de tas vooruit totdat het elastiek slap staat en dan ligt de tas weer stil.

2.31 Sterkte van profielen

Leg een bankbiljet of papier op twee viltstiften. Hoe moet je het papier of een bankbiljet vouwen opdat het zoveel mogelijk munten kan dragen? Twee vouwen helpen al. Stapelen van papier met vouwen kan meer munten dragen. Een ribbelprofiel vouwen doet het nog beter, dat zien we ook in karton (Rademaker, 2016; nvon.tk/stevig-biljet) en dakplaten. Een mooie serie demo's en vergelijking met producten zoals karton en triplex is te zien op YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qFZGmHbjLSM>



Figure 2.24: Hoe kun je een briefje van 10 Euro vouwen zo dat het een lading van veel munten kan dragen?

2.32 Zwaartepunt 1: laat je leerlingen het voelen!

- Laat even met een stokje of liniaal zien wat een zwaartepunt is. Als je het stokje daar ondersteunt, dan is het in evenwicht. Ook even laten zien dat het zwaartepunt verschuift als een kant van de lat of liniaal wordt verzwaard.
- Dan iedereen op laten staan. Docent staat dwars voor de klas (met zijkant naar leerlingen toe). Voor de zichtbaarheid en de atmosfeer helpt het om op een stoel of tafel te gaan staan. Wij hebben ook een zwaartepunt. Leun voorover, wat voel je? Druk op de voorvoet, kramp in de tenen. Als je nog iets verder naar voren leunt, dan moet je een stap vooruit nemen om niet te vallen. Dan gaat het zwaartepunt (dat wel ergens in je buik zal zitten) over je tenen en dan val je om.
- Er zijn nog allerlei variaties. Til een been op en strek het naar voren nu gaan de schouders naar achteren om te compenseren en ervoor te zorgen dat het zwaartepunt niet over de tenen gaat. Draai nu een kwartslag om dus met het gezicht

naar het publiek. Til het rechterbeen op en strek het naar rechtsde schouders gaan automatisch naar links.

- Zak door je knie n, een deel van het lichaam gaat naar achteren (achterwerk) een deel gaat naar voren (knie n/schouders). Steeds geeft het lichaam automatisch de correcties die nodig zijn om het zwaartepunt boven de voeten te houden en niet om te vallen. Het lichaam kent zijn natuurkunde! Zie verder Berg (2007) en ShowdeFysica 2 p 200.

2.33 Zwaartepunt 2: leerlingen geld op laten pakken van hun tenen zonder te vallen

Zet leerlingen op een rij met de hakken tegen de muur (figuur 23). Leen bankbiljetten van andere leerlingen en leg die voor de tenen van de leerlingen. Als ze die op kunnen rapen zonder te vallen, dan mogen ze het geld houden! Maar dat gaat niet lukken. Bij het voorover buigen komt het zwaartepunt voorbij de tenen en moeten leerlingen een stap vooruit doen om vallen te voorkomen.



Figure 2.25: Het is niet mogelijk om het geld op te pakken met de hielen tegen de muur, in de foto staan de hielen nog niet helemaal tegen de muur.

2.34 Zwaartepunt 3 ongelijke leerlingen

Neem twee leerlingen van ongelijke lengte/gewicht. Laten ze elkaar vasthouden en dan hun buitenste benen optillen. Totale instabiliteit! Zelfde probleem als in het vorige experiment, het gezamenlijke zwaartepunt moet boven hun standbeen zijn, maar het optillen van de benen verstoort het evenwicht.

2.35 Zwaartepunt 4: hamer en liniaal

Leen een hamer en een stok en wat touw of sterk elastiek en construeer de set-up

Figure 26. Student lerarenopleiding David van UTwente demonstreerde dit perfect.



Figure 2.26: David balanceert een hamer, het zwaartepunt moet onder de tafel zijn, niet ernaast.

2.36 Rotatie, zwaartepunt, stabiliteit

Houd een stoel schuin, nog schuiner, er is een punt waar de stoel kantelt. Neem een eenvoudiger object, bv een blok hout. Probeer nu de positie waarin het zo schuin staat dat het gaat vallen te relateren aan het zwaartepunt. Neem dan een leerling en zet die met zijn zij naar de klas. Laat zien wat er gebeurt als de leerling voorover leunt totdat zijn zwaartepunt over de tenen gaat (zie eerdere demo). Sta klaar om te helpen bij een zachte landing. Als je de tijd hebt, kun je nog demonstreren dat het zwaartepunt van meisjes lager ligt dan dat van jongens. Als ze een stoel voor zich oppakken, dan vallen jongens gemakkelijker voorover. Details van de instructies staan in (Liem, 1987, p326).

2.37 Druk en oppervlak

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

2.38 Hefboom, koevoet

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

Warning

FOTO

2.39 Torsie van deuren en deurkrukken

Illustreer torsie met het openen van een deur (verticale as) of het roteren van een stoel of tafel om een horizontale as. Met torsie kunnen we de dingen laten roteren om een as.

2.40 Torsie en afstand van as

Gebruik de deur. Duw met je vinger tegen het eind van de deur, de deur komt gemakkelijk in beweging. Duw nu dichtbij de scharnieren van de deur, nu is het veel moeilijker om de deur in beweging te krijgen. Aan de andere kant, als je bij het uiteinde van de deur duwt, dan moet je vinger een grote boog afleggen om 90° te draaien. Maar als je vinger vlak bij de scharnieren is, dan hoeft die maar een klein boogje af te leggen om 90° te draaien.

2.41 Krachtmoment 1: gestrekte arm en tas met boeken

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

2.42 Krachtmoment 2: zittend optillen van gebogen en gestrekt been

Alle leerlingen zitten op hun stoel. Til de knie van een been iets omhoog, los van de stoel. Dat kost niet veel moeite. Strek nu het been en beweeg het gestrekte been omhoog. Dat kost wel moeite. Het krachtmoment (kracht x arm, kracht maal afstand van heup tot het zwaartepunt van het been) is nu veel groter. Bij gestrekt been ligt het zwaartepunt van het been verder van de heup (het draaipunt) dan bij het gebogen been.

2.43 Veren parallel en in serie

Elastiekjes parallel en in serie. Er zijn vast wel leerlingen die elastiekjes bij zich hebben. Maak ze in parallel of serie aan elkaar vast, hang er objecten aan en vergelijk. Eventueel een paperclip ombuigen en als haak gebruiken. Breng dit in verband met de wet van Hooke: $F = Cu$ met C als veerconstante.

2.44 Trek- en schuifspanning met een krijtje

Neem een krijtje (figuur). Trek aan beide kanten, dat geeft Trekspanning (tensile stress). Het krijtje breekt netjes met een redelijk plat breukoppervlak. Neem een nieuw krijtje. Draai nu aan beide uiteinden in tegengestelde richting: schuifspanning (shear stress). Nu breekt het krijtje met een scherp en onregelmatig breukvlak (Culaba & Berg, 2009). Toch wel jammer dat krijtjes en krijtborden langzamerhand verdwijnen. Dacht ik iets nieuws gevonden te hebben en blijkt dit al te staan in de Feynman Lectures of Physics, p39-9, 1964!

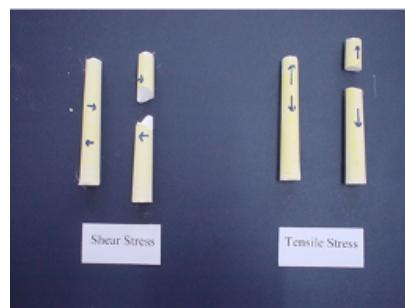


Figure 2.27: Het verschil tussen trek- en schuifspanning

2.45 Botsingen en voorkomen van schade: eieren gooien

Heeft iemand een ongekookt ei? Dit vind je misschien niet in een kaal lokaal, dan maar niet vergeten dit van huis mee te nemen. Laat leerlingen een handdoek of trui of jas, of gordijn ophouden zo dat het grootste deel bijna verticaal is en er onderaan een gootje is. Dan gooit de docent, of een honkbal leerling met volle kracht een ei in de handdoek of jas (figuur 26). Het ei zal niet breken. Herhaal het nog een keer. Er zijn twee principes: 1) de remkracht wordt door de handdoek gespreid over het hele ei, en 2) er is een lange remweg en lange remtijd want de handdoek beweegt nog mee. Deze twee principes spreiden de remkracht in ruimte en tijd waardoor de kracht minder is. Dat is gemakkelijk te zien in $\Delta p = \Delta mv = F \cdot \Delta t$. De impuls gaat van mv naar nul. Als de remtijd Δt groter is, dan is remkracht F kleiner. Zelfde met $\Delta E_{kin} = mv^2 = F \cdot s$. De kinetische energie gaat van mv^2 naar nul.



Figure 2.28: Gooi een ongekookt ei in een handdoek of jas. Het breekt niet.

2.46 Breken of niet? Beschermen van fragiele dingen

Kijk rond naar voorwerpen die kunnen breken als je ze op een stenen vloer laat vallen. Dan zoek naar voorwerpen die krachten kunnen spreiden en remweg en/of remtijd kunnen vergroten zoals een jas, een kussen, of trek je trui uit. Misschien is er zelfs schuimrubber in de buurt. Dit kan worden gevuld door een discussie over hoe breekbare voorwerpen worden verpakt. Hoe zorgen de meisjes dat kosmetische flesjes in hun tas niet breken? Kun je dit verklaren met de twee principes: spreiding van krachten en verlenging van de remweg?

2.47 Bernoulli 1 met een vel papier

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 27). 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. Er zijn nog allerlei andere Bernouilli-variaties (Liem, 1987).



Figure 2.29: Bernoulli shown

2.48 Bernoulli 2 met twee vellen papier

Ga verder met de demonstratie, pak nog een vel A4, of scheur nog een pagina uit het schrift van een 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 Bernouilli-demonstraties, maar, pas op, het is niet alleen het Bernouilli principe dat vliegtuigen in de lucht houdt. Belangrijker is de reactiekraft op de vleugels als gevolg van lucht die horizontaal tegen de vleugel stroomt en naar beneden wordt afgebogen (Weltner, 1990a, 1990b). De vleugel staat altijd onder een kleine hoek met de vliegrichting (angle of attack). Dat stuntvliegtuigen op hun kop kunnen vliegen laat zien dat de reactiekraft op de vleugel het belangrijkst is. Weltner (1990a) & Weltner (1990b).

2.49 Bernoulli 3 met rietje en kaarsvlam

Steek een kaars aan. Als ik door een rietje blaas net rechts van de vlam, zal de vlam bewegen, naar welke kant? Waarom? Antwoord: de vlam beweegt naar rechts naar het gebiedje met de laagste druk. Volgens Bernouilli is de druk in snel bewegende lucht lager dan in de omringende lucht. Voor een jonger publiek: ik blaas wat lucht weg, het brandende gas beweegt naar de plek met de minste lucht.

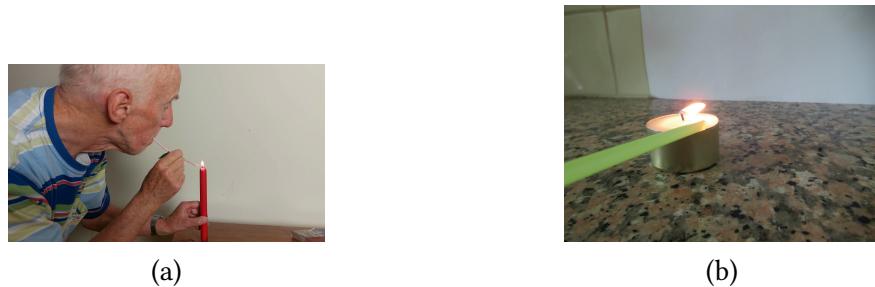


Figure 32: Bernoulli laten zien

2.50 Energie conversies

Laat iets vallen en er is conversie van potentiele naar kinetische energie, wrijf in je handen (kinetische naar thermische energie), klap in je handen (mechanisch naar geluid) wijs naar de lampen in het lokaal (elektrisch naar licht en warmte), etc.

2.51 Arbeid en kinetische energie

Er zijn linialen met mooie gootjes, laat een knikker rollen en onderzoek het verband tussen beginhoogte van de knikker en de afgelegde afstand door het bekertje of gevouwen stukje karton of dik papier (figuren 31 en 32) dat geplaatst wordt op grafiek papier voor precies meten. Dit kan ook gemakkelijk een goedkoop maar nuttig practicum worden in een gewoon lokaal. Kwantitatief is dit een mooie demonstratie van de relatie tussen kinetische energie en arbeid. Kwantitatief zit er nog een addertje onder het gras in de rotatie van de knikker, heeft dat wel of niet invloed? Kruit (2018) gebruikte dit experiment om onderzoeksvaardigheden te meten van basisschool leerlingen. Zie ook Farmer (2012).

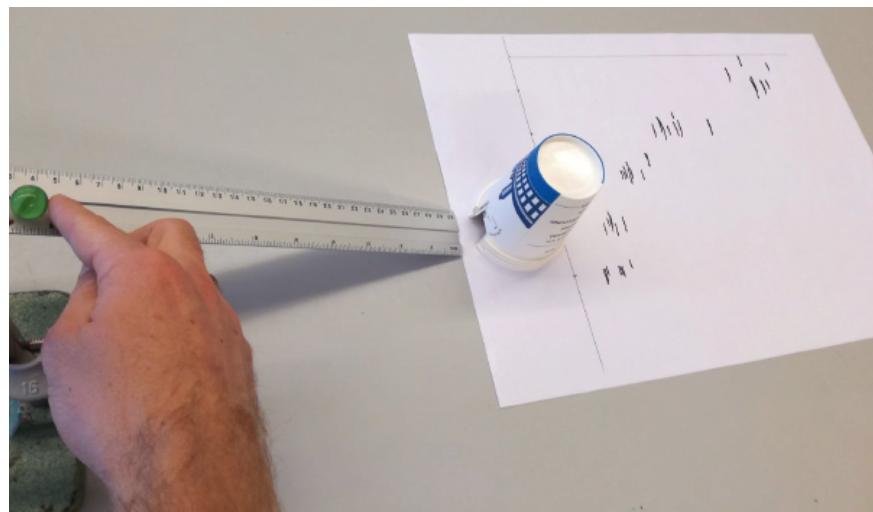


Figure 2.33: Laat een stuiter van een linial afrollen in een gaatje in een papieren beker.
Hoe ver schuift de beker?

2.52 Asymmetrische eigenschappen, wrijving van menselijke haar

Vraag een meisje met lange haren om een haar of stel voor dat elk leerlingpaar een haar neemt van een van de twee hoofden van het paar. Houd de haar vast tussen duim en wijsvinger van de ene hand terwijl de duim en wijsvinger van de andere hand langs de haar schuiven. Voel de wrijving. Keer dan de richting van schuiven om. De grootte van de schuifwrijving blijkt richtingsafhankelijk!

3. Elektriciteit

3.1 Statische elektriciteit en balpennen, kleding, en papier

Laat leerlingen kleine snippers papier van hun schriften scheuren, laten ze dan hun pennen langs hun kleding wrijven en naar de papiersnippers toe bewegen. Je ziet dan zowel elektrostatische aantrekking als afstoting. Enkele snippers worden eerst aangetrokken en vervolgens afgestoten. Sommige kleding is zeer statisch, mijn fleece vest bijvoorbeeld. Met huidhaar zeer goed te illustreren.

3.2 Statische elektriciteit en ballonnen

Als natuurkundedocent heb je natuurlijk altijd een ballon in je zak. Even wrijven en dan tegen de muur houden en de ballon blijft “plakken”, of lang haar laten aantrekken, of het haar op de arm van de docent of een leerling rechtop laten staan.

3.3 Zout en peper scheiden met een ballon

In de schoolkantine en de personeelskamer is vast zout en peper te vinden voor soep. Meng wat zout en peper op tafel of op een schoteltje. Wrijf dan de ballon met textiel van een trui of andere kleding en houd de ballon boven het mengsel. De peper wordt aangetrokken, het zout blijft achter. Als er geen ballon is, probeer een plastic liniaal. De peper wordt aangetrokken door een geïnduceerde scheiding van ladingen in de paper. Waarom wordt het zout niet aangetrokken? Zijn de deeltjes te zwaar of is zout te geleidend?



Figure 3.1: De gewreven ballon trekt peper aan maar niet zout.

3.4 Plastic rietjes

Ik heb er altijd een in mijn etui, maar ze zijn ook in veel personeelskamers te vinden. Wrijven met een papieren zakdoekje en dan is er een kans dat het rietje aan de muur blijft plakken, of aan een metalen object zoals een stoelpoot of een conservenblikje. Als het

allemaal niet zo goed gaat (vochtigheid), dan wordt huidhaar meestal nog wel aangetrokken.

3.5 Wet van Coulomb

Vraag eens hoeveel lading er op zo'n rietje of pen zou kunnen zitten. Vanwege de grote evenredigheidsfactor (9×10^9) in de wet van Coulomb, moeten die ladingen toch wel heel klein zijn, zeker kleiner dan 10^{-8} C. Stel $q_1 = q_2 = 10^{-8}$ C, dan $F_{coulomb} = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{10^{-8}}{10^{-4}}$ N, en stel de onderlinge afstand 1cm, dan is $F_{coulomb}$ in de orde 1/100 newton. Maar 10^{-8} C is nog altijd wel $6 \cdot 10^{10}$ elektronen.

3.6 Watermoleculen zijn dipolen

Laat een paperclip, of beter een aluminium muntje, drijven op het water in een glas, heel voorzichtig neerleggen op het oppervlak, of een vork gebruiken. Wrijf een rietje, of ballpoint, of ander plastic voorwerp. Houd het vlakbij de paperclip (Figure 22). De paperclip wordt afgestoten. Hoe kan dat? *Wat zien we? Hoe verklaren we dat?* Laat leerlingen komen met ideeën en bespreek. Elektrostatische inductie zou leiden tot aantrekking. Dan moet het wat anders zijn. Uiteindelijk, watermoleculen zijn dipolen. Die worden aangetrokken door de pen of het rietje, dat creëert een hellinkje en de paperclip glijdt daarvan af. De aantrekking kan ook gedemonstreerd worden door een gewreven ballpoint naast een straaltje water te houden. De bobbel op het water kan gedemonstreerd worden door reflectie van een laserstraal aan het wateroppervlak naar een tegenoverliggende muur. Wanneer de punt van het rietje het water nadert, beweegt de stip op de muur.



Figure 3.2: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

3.7 Stroming van elektriciteit vergeleken met water

Doe het licht aan, het effect is onmiddellijk. Doe de kraan open, het duurt even voordat er water uit komt. Je zou een discussie kunnen starten over veld-gestuurde stroming (elektriciteit) versus deeltjes-gestuurde stroming (water). Het water is als het verkeer wanneer een verkeerslicht op groen springt, het moet op gang komen. Elektriciteit is onmiddellijk. Hoewel, tl-buizen komen soms langzaam op gang, maar dat heeft een andere oorzaak.

3.8 Geleiders en isolatoren

Leeg klaslokaal? Neem een batterij, een klein lampje in eenhouder en een paar draadjes mee, dat past allemaal in je zak. Probeer vervolgens in een interactie met de klas welke materialen elektriciteit geleiden en welke niet. Leerlingen kunnen verbaasd worden met de kern van een potlood.

Haal het lampje uit dehouder en gebruik alleen de losse draadjes, de batterij en het lampje. Wie kan zorgen dat het lampje licht geeft? Daag de studenten uit en laat ze eerst zelf het contact maken. Loop rond in de klas om de resultaten te bekijken. Sommige

studenten gebruiken maar een draadje om een circuit te maken, andere hebben misschien moeite met waar de draadjes aan het lampje moeten worden vastgemaakt. Dit is niet gek, zelfs geslaagde studenten van the Massachusetts Institute of Technology (MIT) hadden hier moeite mee, zoals te zien is in de Annenberg Private University videos. Er is vast een leerling die meteen wilde laten zien wat hij/zij kan, maar die je even hebt tegengehouden zodat de rest het kon proberen. Vraag deze leerling om te laten zien hoe ze het voor elkaar hebben gekregen en om het circuit op het bord te tekenen.

3.9 Schakelingen met PhET

Tegenwoordig heeft een kaal lokaal een computer en projector. Met PhET (<https://PhET.colorado.edu>) kun je allerlei schakelingen simuleren en een microscopisch model laten zien. De volgende keer, wanneer je niet in dat kale lokaal zit, laat dan ook even enkele schakelingen in het echt zien, of stop een multimeter, wat kabels, en lampjes in je tas voor die volgende keer.

3.10 Rollenspel om verschillen tussen spanning, stroom, en vermogen te zien

Leerlingen (= elektronen) met rugzakjes energie (spanning = energie per eenheid lading) bewegen door de lampen en geven hun energie af (conversie van elektrische energie naar licht en warmte) en gaan terug naar de batterij voor een volgende stoot energie. De elektronen blijven behouden, zij zijn het transportmiddel, de vrachtwagens die energie vervoeren. Het is de energie die wordt omgezet. Het vermogen neemt toe wanneer spanning toeneemt (=energie per vrachtwagen) en wanneer de stroom toeneemt (meer vrachtwagens): $P = U \cdot I$. In het rollenspel kun je serie en parallelschakelingen uitbeelden en allerlei gemengde schakelingen. Een uitgebreide beschrijving is beschikbaar van de auteur.

(Sefton, 2002) is het absoluut oneens met dit soort analogieën en zijn argumenten zijn waardevol om te lezen, daar leer je natuurkunde van! Daarnaast is Muller's Veritasium video goed om mee te nemen. Maar het rollenspel is een uiterst nuttige *tijdelijke scaffold* om hun begrip op te bouwen en te visualiseren.

4. Light

In the bare classroom there is scattered light from outside, sometimes direct sunlight. There are lamps in the ceiling and there are the little flashlights on the mobile telephones of students as well as light from the telephone screens. The teacher may even have a laser pointer in his/her pocket. It should be possible to show many optics phenomena with those different sources of light.

4.1 Preliminary diagnostic questions on the propagation of light

The nicest start of lessons on optics is in a totally dark room with at most a candlelight. But a bare classroom is unlikely to have the necessary thick black curtains. Well, improvise with a candle, *let there be light!* I strongly suggest you go through some very basics that rarely make it into an optics lesson and try to assess some preconceptions of your students. Why not use some multiple-choice questions like the following (Berg & Sandura, 1990), to be answered individually.

A candle is burning in day light. The light of the candle:

- A. stays on the candle,
- B. comes out halfway towards you,
- C. moves away from the candle until obstructed.

Then the same question but now at nighttime. Then follows a plenary discussion on how far light can go. If somebody with a telescope is 1 km away, can he see the candle? Does that mean that the light of the candle reaches the telescope, or is the light on the candle and the telescope looks at it?

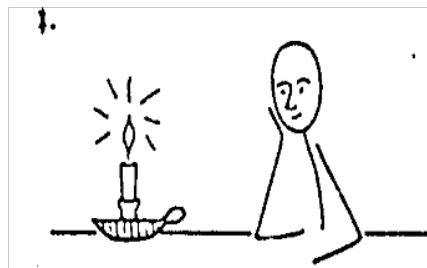


Figure 4.1: .

1. A candle is burning during the day. The light from the candle:

- A. stays on the candle.
- B. comes out about halfway towards you
- C. comes out as far as you but no farther
- D. comes out until it hits something.



Figure 4.2: .

2. Now there is a brown out during the evening and you are using a candle. The light from the candle:

- A. stays on the candle.
- B. comes out about halfway towards you
- C. comes out as far as you but no farther
- D. comes out until it hits something.

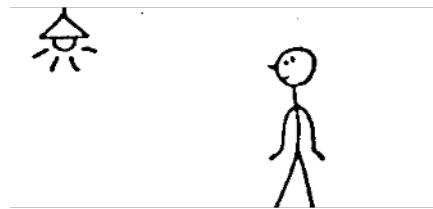


Figure 4.3: .

3. Now there the candle is near a light bulb. The light from the light bulb:

- A. stays on the bulb.
- B. comes out about halfway towards you
- C. comes out as far as you but no farther
- D. comes out until it hits something.

4. Now it is evening. The light from the light bulb:

- A. stays on the bulb.
- B. comes out about halfway towards you
- C. comes out as far as you but no farther
- D. comes out until it hits something.

4.2 White light and spectra with everyday objects

Let students use transparent ballpoint pens or other transparent glass or plastic objects to produce a spectrum. Does anybody have a pocketknife with a lens? Then recombine the colors into white. With an OHP in the room there would be many more possibilities.

4.3 Producing colors

From the previous experiment we might have learned that anything with a wedge shape, like those cheap ballpoints with a hexagonal profile, can produce colors from white light. We can recognize such shapes everywhere, like the edge of a bathroom mirror and a prism. Look around, does anybody have clothing or shoes with glitter and colors? Any wedge shapes involved?

4.4 Color subtraction

Anybody with transparent, colored candy wrappers? Use a flashlight or the light of a telephone and shine it through the colored paper towards the students. The original light is white, the paper wrappers subtract colors from white. A red paper wrapper subtracts blue and green and lets red go through. A blue paper wrapper subtracts green and red and lets blue go through. If you have more candy wrappers and more lamps you can add colors together again.

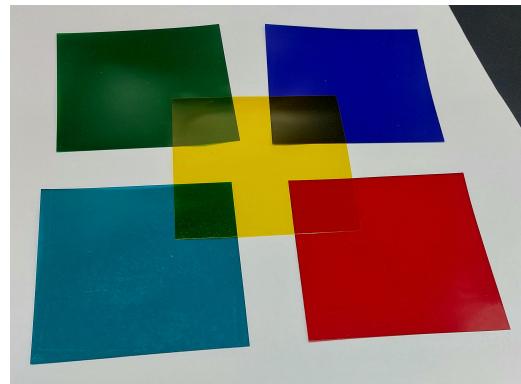


Figure 4.4: Put various colored transparent papers on top of each other.

4.5 Color addition

Perhaps you have a Newton color disk on top of a spinning top. By spinning colors you can add them up to a white appearance. Or use a string through one hole in the center and one off center to make the disk spin. Of course PhET has a very nice simulation for color addition which shows how with primary colors all other colors can be produced.

4.6 Reflection

There must be students in class with a mirror in their bag. Other reflecting objects might be windows, metals, spoons, etc. One can easily imagine many demonstrations. A spectacular demo is to tell your class that your whole body will be visible in any mirror as long as you increase your distance to the mirror. Then you *disprove*, using a mirror taken from outside the classroom, or borrowing a mirror from one of the girls. Beware of convex and concave mirrors for this particular demo, the mirror should be flat.

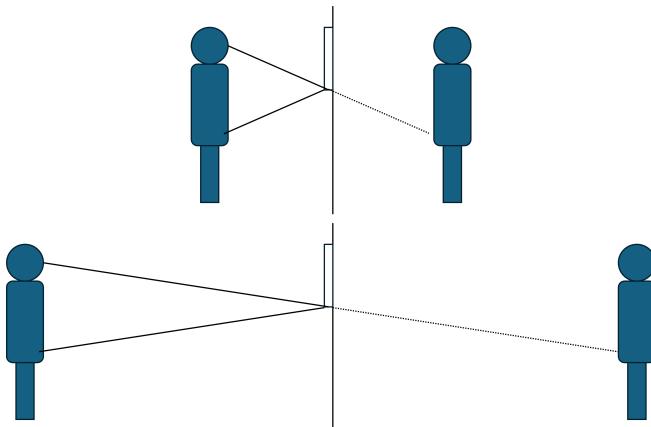


Figure 4.5: Does more body become visible when moving away from the mirror?

4.7 Visualization of Snell's Reflection in three dimensions

We rarely demonstrate what it means that incident and reflected (or refracted) light rays should be in one plane. Take three meter-sticks, or rulers, or pieces of pipe, or broom sticks, or pencils (too small). One meter-stick becomes the normal, the other two become incident and reflected or refracted rays respectively. Emphasize their orientation in one plane and show examples of orientations, which are not possible (not in one plane). Alternatively, you could ask students in their seats to demonstrate Snell's law to you using ballpoints and pencils. You can easily check 10 students in 1 minute. If you have a laser pointer and a small mirror, then of course you could easily confirm this by putting the mirror flat on the table and shining the laser on it.

4.8 Snell's reflection Law with a laser pointer

If there is a laser pointer in the room, then get a mirror from one of the girls, put it on the table, and show that the incoming and reflected rays are in one plane with the normal. Watch out that you get a flat mirror and not a concave or convex one.

4.9 Snell's reflection Law: constructing light rays with pins

If you do have pins, then you can use a pencil standing straight up and construct light rays going towards and reflected away from a vertical mirror from several viewpoints and by extension find the location of the virtual image. See a nice series of simple and useful experiments in (McDermott et al., 1996).

4.10 Refraction 1 pencil slanted in glass of water

Walk around with pencil slanted in a glass of water, or better, in rectangular container.



Figure 4.6: A broken straw?

4.11 Refraction 2 pencil straight up in glass of water

Stick your finger or a pencil straight up in a (round) glass of water. Move through the classroom while moving your finger forward and backward. No need for talking, many students seem surprised at this everyday observation of a “swollen” finger. Explaining can be quick by stating that the water in a glass acts as a lens. A better explanation with refraction of light rays might take 10 minutes or could be given as a task for seat or home work.

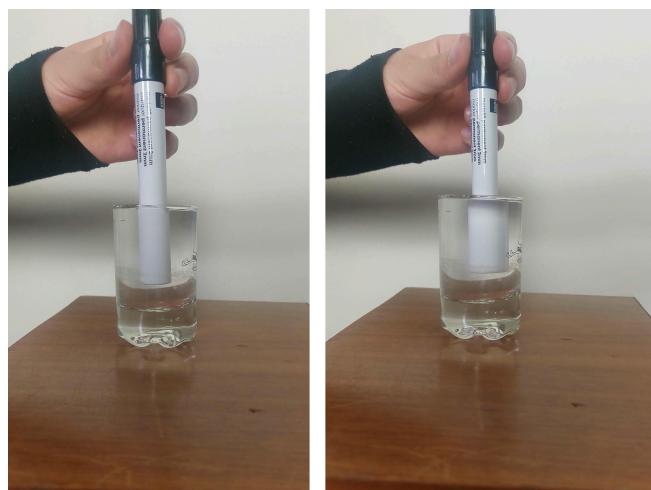


Figure 4.7: Move the pencil back and forth and describe what you see

4.12 Refraction 3 arrows seen through air and through a glass of water

(Czech contribution to Physics on Stage, (al., 2010)) Draw parallel arrows on a piece of paper (the object), hold that behind a glass of water half-filled such that some arrows are seen through the air and other arrows through the water. If the object distance is farther than the focal length, then the arrows are reversed Figure 8.



Figure 4.8: Do the arrows point in the same direction?

4.13 Refraction 4: Physics is Fun in the swimming pool

Ask students to draw the light ray diagram requested in Figure 9. Walk around to identify frequent errors. Discuss, and then ask students how they could create an analog situation with a Lego mini-doll or a pencil and follow their instructions to demonstrate.



Figure 4.9: Fun physics in the pool

4.14 Bright versus dark background

Switch off the classroom lights. The teacher or a student stands against the wall opposite of the windows. The face is clearly visible as more light is reflected from the face than from the background. Then the teacher or student stands in front of the windows with the face towards the class. Now the face looks dark and unclear as the reflected light from the face is very little compared to the light coming through the windows. Then turn on the lights in the classroom and the face is better visible again. The same effect is visible in Figure 10.



Figure 4.10: Has the tulip changed color?

4.15 Pupil, diaphragm

Arrange students in pairs. They are to observe each other's pupil contraction. Make the classroom dark or let students cover their eyes. Then put on the lights. Can students see each other's pupils get smaller? Repeat one time for a better view the second time around.

4.16 Reflection and transmission 1

Take a piece of paper, wet it a bit in the middle with water, oil, or saliva, then hold it in front of the window (or a lamp). The wet part appears light, it transmits. Then put the paper on the table where it reflects light. Now the wet spot looks dark, because of the transmission, it reflects less than dry paper. Students can do this in their seats using their saliva or whatever wet stuff is available Figure 11.



Figure 4.11: The wet part appears light, it transmits.

4.17 Reflection and transmission 2

(in winter) Do students have bicycle LEDs in their pockets or bags? Darken the room. Take two LEDs. Hold the paper with the oil stain in between and look for a point where the reflection and transmission are the same. You can even make this into a light intensity meter. You can compare the intensity of lamps with different power. See also exploratorium

4.18 Accommodation of the eye

Let your students hold a pen or pencil or finger near the eye. Nearer and nearer the background will become unclear/unfocussed. When our eyes focus on the background, then the pen/pencil will appear unfocussed. The lens of the eye adjusts to the distance (up to a point). This is clear evidence that the lens of the eye can focus and it has to change shape and thus focal length to do so. We call this accommodation.

4.19 Depth of field

The previous experiment also shows the camera concept of depth of field. But students can also try with their own telephone cameras. Let them focus on something farther away (textbook or computer screen) and then let them move their index finger back-and-forth in front of the lens. See how the background is sharp and the finger in the foreground is not, or the other way around, and how both are sharp when the finger and text are at the same location. Also try it with written words in the foreground and background. The cameras nowadays have a surprising depth of field. Perhaps have some example photographs ready on the beamer in your classroom.

4.20 Lenses

Did any student bring a lens, perhaps with a pocket knife? Or bring some lenses of your own. Use the window as object (or a bicycle LED) and a piece of paper or the wall opposite the windows as screen. See whether the image is upright or upside down, etc.

4.21 Narrow slit diffraction or refraction?

Look at the lights in the ceiling, close your eyes to a narrow slit, the beam widens perpendicular to the direction of the slit. The effect is better when using an incandescent light bulb up front, preferably with transparent glass and a straight filament. Could Huygens have seen this evidence of diffraction in the 17th century? Well, try tonight with a candle. With some lights even color fringes are clearly visible. However, the famous (Minnaert, 1954) explained the stripes of light through differential *refraction* by little dykes of liquid along the edge of the eyelid (part 1, p122 of the original Dutch edition). So no refraction after all. But now pay attention to light falling through your eyelashes. Do you see colors? Now isn't that diffraction by hairs?

4.22 Mouche volante

There is more to see in the eye itself. Look into the beautiful blue sky or another even light background like a white classroom ceiling and you may see wiry structures floating in your eye. See entoptic phenomenon for a better description and some other phenomena in our eyes. While turning your head, these wiry structures tend to stay behind: inertia and proof that these are structures floating in the liquid inside the eyes!

4.23 Parallax

Have students close their right eye and stick up their pen at arm's length such that it is in line with a mark on the black board. Have them then close the right eye and open the left

one. The pen is no longer in line with the mark on the board as we look at it from just a different angle. That is parallax. The farther the distance from pen to the mark on the board, the smaller the difference. So parallax can be used for distance measurement. See Figure 12 for the apparent shift of the pen against a background.



Figure 4.12: The pen at arms' length from the camera (the eye), is exactly aligned with the edge of the batik. When the camera has been shifted 5 cm to the left which is the distance between the eyes. The pen did not shift. The closer the pen from the batik, the smaller the apparent shift in position.

4.24 Dominance of one eye

With two eyes open keep the pen at arm's length and aligned with a mark on the board, focus the eyes on the board. Now close the left eye, then open left and close the right eye. If the pen shifts quite a bit (compared to two eyes open) when the right eye is closed, then the right eye is the dominant one. If that does not happen for the right eye, but for the left eye, then the left eye is dominant.

4.25 Seeing depth 1

Two eyes are better than one, especially in seeing depth and estimating distances. Let students take a pen or pencil in the left hand and another one in the right hand Figure 13. Move both hands around a bit and then let all student close one eye and move the pens toward one another until the tips touch. With one eye closed that is difficult, with two eyes open it is easy. The experiment can also be done with the two index fingers, but with pens it is more dramatic.

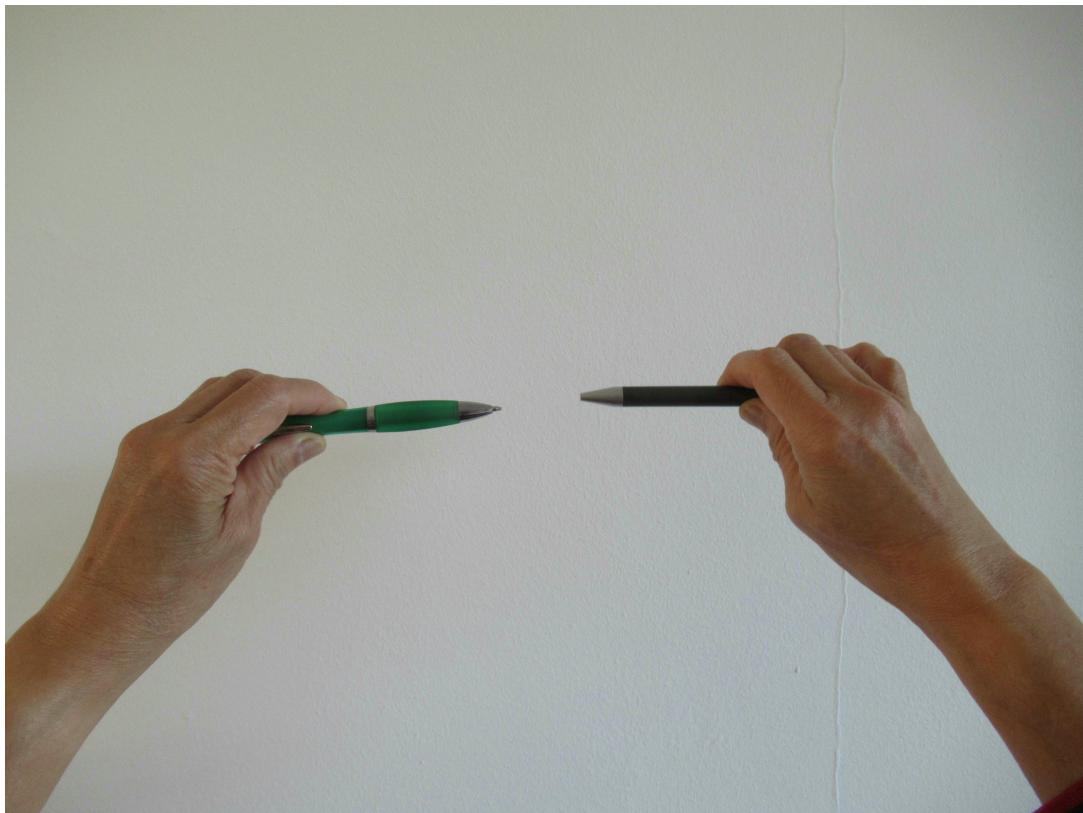


Figure 4.13: Estimating distance with one or two eyes.

4.26 Seeing depth 2

This demonstration can be done as a teacher demonstration with a student in front of the class but can also be done as a semi-lab activity with student pairs where in each group one student is subject and the other is experimenter. Collect coins or buttons or paper clips or other small objects and a beaker (or draw a circle on paper). The beaker or circle should be about 60 cm from the subject. The subject closes one eye. The teacher or student experimenter holds a coin or button about 50 cm above the table and moves the hand slowly. The subject says “drop” when (s)he thinks the object is exactly above the target and then see whether the object falls inside the beaker or circle. Compare greater and smaller distances and one or two eyes. An alternative with more clear reports is to draw concentric circles with a radius of 1, 2, and 5 cm. The subject is located 1,5 m from the circles with one eye closed. The experimenter holds a marker with the tip downward. The subject instructs the experimenter to move the marker forward/backward or left/right until (s)he thinks the marker is above target. Then drop. The pattern of dots constitutes the report. Use different color markers for different conditions such as one or two eyes closed or different distances, or different observers.

4.27 Blind spot

Almost any textbook has instructions for how to find the blind spot of the eye. Have students draw an X (left) and a big dot (right) about 6 cm apart in their notebook. Let them close the left eye and focus the right eye on the X. Then move the notebook towards the eye. At a certain point the dot will not be visible. That is when the light from the dot falls on the spot where the optic nerve leaves the eye. For detailed instructions this workresearch.

4.28 Center and sides of retina, peripheral vision

Think of something to illustrate the different nature of eye cells in the center and at the periphery of the retina. The periphery is much more sensitive to detecting movement, protecting eyes against insects, etc. Students will volunteer their stories.

4.29 Optical illusions

Photocopy the famous pictures of parallel lines which do not seem parallel, Escher's art work, Gestalt pictures, etc. onto transparencies and that are ten little demo's right there. Or google on optical illusions and put them on your classroom beamer. See for instance optics4kids.

4.30 Diffraction

If you or your classroom has a laser pointer, then possibilities for experiments are endless: hairs, holes, slits, reflection, refraction, diffraction, scattering from dust.

4.31 OHP

If there is an OHP in the room, then 10 or 20 short demos could easily be added to this list. Think of the typical blue-purple or red-orange fringes around shadows of objects between lens and screen. One can create similar fringes by looking at windows or door openings through a big prism containing water. When the prism's triangle is pointing up, the red-yellow occurs above shades and the bluish-purple below shades. Turning the prism upside down gives the opposite effect. This is the key to explanation.

4.32 Minnaert

Marcel Minnaert was a well-known Flemish - Dutch astronomer who wrote a famous series of three books on physics in the environment. His book on light and color in the landscape was translated in English and appeared in 1954 (Minnaert, 1954; 1993). He describes many simple experiments that he conducted with almost no tools and often surprising results. Check your knowledge of Physics in the environment against Minnaert's observations!

4.33 Other

See (Wojewoda, 2017) for simple optics experiments with a laser or laser pointer.

5. Oscillations and waves

5.1 Pendulum, period, natural frequencies

Always take a slinky to class, but if you did not, then you could do one of the following: A pendulum could be made of anything. For example, collect some student bags and show how each of them has its own oscillation period. Show different modes of oscillation of the bags: as a simple pendulum (two perpendicular directions of swing), as a torsion pendulum, etc.

5.2 What affects periods

By comparing the different bags as pendulums, and by taking things out or putting them inside (torsion pendulum), or changing lengths of straps, demonstrate factors which affect the period of the pendulums. This could also be a short class activity: finding out what affects the period of the “bag” pendulums. Make a list of what influences the period of a simple pendulum and/or what influences the period of a torsion pendulum.

5.3 Rulers and periods

Take a ruler, make it stick out a bit Figure 1 from the table, let it vibrate and listen, change how much it sticks out, the pitch of the sound produced will change. Students can do this in their seats using their own rulers. Take two equal rulers but now attach some coins to the end of one of them. See what happens to the pitch of the sound and the frequency of the oscillation.



Figure 5.1: Change the mass at the end of the ruler and listen



Figure 5.2: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

5.4 Tension and pitch

Take a rubber band, stretch it a little, make it vibrate and walk around the classroom to let students hear. Now if I stretch the rubber further, will the pitch increase, decrease, or stay the same? Stretching will increase the tension resulting in a higher pitch, but increasing length will lower the pitch. Decreasing the density per length will also lower the pitch. So the pitch will not change much and be a bit unpredictable (source Wouter Spaan).

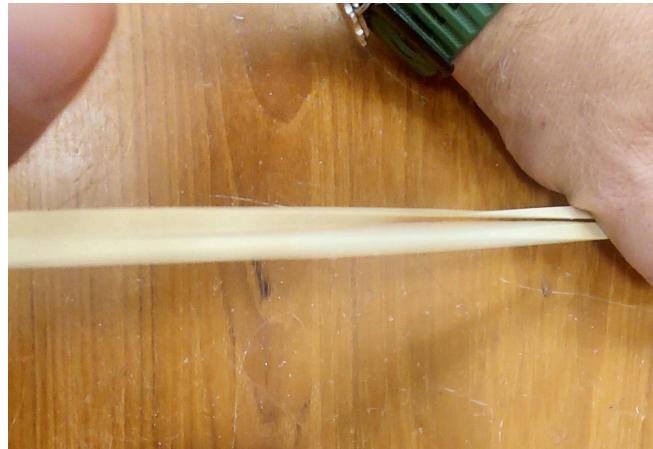


Figure 5.3: Change the tension and hear the change in pitch

5.5 Resonance 1 with a pendulum

Make a pendulum of any string and an object as bob. You could even take a computer mouse suspended from its electric wire. Let it swing. Give it a little push every time it reaches one of its two maxima. Resonance between push and pendulum! Or provide the little push after every two swings, or three swings, also that will be resonance which results in increasing the amplitude. Of course, a father or mother can do the same thing with a child on a swing.

5.6 Resonance 2 blowing a swinging book to maximum heights

Liem (1987, p300) demonstrates the principle of resonance with a pocketbook suspended from two strings like a swing (let a student hold the strings). The teacher then holds out the book at 45° with the question: “Would I be able to blow against the book until it is this far out 90° ?” The anticipated answer is “NO”. Then hang the book vertically and blow with huffs *in phase* with the swings of the book. Of course, this is just like a swing on a playground.

5.7 In phase and out of phase

Consider the previous pendulum, one can push in phase and there is resonance and the amplitude will increase. One could also push out of phase and the pendulum motion will be disturbed and could even be stopped.

5.8 Collisions of coins

Have two coins *A* and *B* touching and a third *C* lengthwise at a few cm distance (figure 3). Then shoot *C* towards *B* while pressing *B* down with your finger. If *A* and *B* touch, then the momentum transfers very well to coin *A* even though *B* is not able to move. The transmission mechanism inside coin *B* must be a wave. *A* can also be put such that it is not quite in line with *CB* but still touching *B*. Also then momentum transfer takes place and *A* is launched under an angle.



Figure 5.4: scan the QR code to open the link or click here to open the link.

5.9 Visualizing a wave with students

Get 10 students up front each at arm's length from each other. Demonstrate a longitudinal wave by having one student at one end take a step towards his/her neighbor and back, then the next one, etc. A compression propagates accompanied by a rarefaction. Similarly for a rarefaction. Unfortunately, this sometimes takes a little practice. So it could take 5 minutes rather than the 2 for most demo's in this booklet. The slinky might be better, but if you forgot to bring it or if the heating of the room is insufficient and your students are a bit cold, or if the heating is too much and they are sleepy.... this role play visualization might be useful. Of course, this way one could also simulate a transverse wave by having students in the line-up step forward or backward out of line. If all of them hold hands, they would even feel the force driving them back to equilibrium.

5.10 Other

If there happens to be an OHP in the room and a glass of water or Petri dish, then many demo's on waves are possible: circular waves, reflections, or even interference by using two fingers or pencils as sources. And if there is a beamer, there are many nice video's and simulations of wave phenomena.

5.11 Beats, Moiré patterns

These happen when two waves or patterns interfere. For example, two combs on top of each other which have slightly different spacing between the teeth. There are spots where the spaces in between coincide (constructive interference) and spots where the tooth of one comb coincides with the space of the other (destructive interference). When you put two combs at an angle with each other (Figure 5a and Figure 5b), you get nice patterns. Just borrow combs from the students. The same with lace or transparent curtains and other textiles. This also reminds us of beats for sound waves in which sounds are sometimes in phase and sometimes in opposite phase and this gives variations in the sound intensity.



(a) (b)
 Figure 53: Interference with haircombs

6. Sound

6.1 Natural sounds, frequencies, timbre

Tap against all kinds of objects to illustrate that each object has its own sound. Compare big and small wooden objects and listen to the difference in pitch (frequency). Get students to predict whether the pitch of the next object will be higher or lower. Does it have anything to do with size? Be gentle with the windows. There is more than just pitch. Sounds from tapping on wood and tapping on glass are clearly distinguishable, even if the pitch is the same. Voices of people (but also of dogs) are clearly distinguishable: timbre.

6.2 Pitch and length 1 with a clamped ruler

Borrow a ruler from a student, clamp it between one hand and the table and have part of it stick out. Now activate the oscillation with the other hand. By making the end that sticks out longer or shorter, you can vary the pitch. You can even make it quantitative by singing do-re-mi and realizing that the frequency of the second “do” is twice the frequency of the first “do”. That way you can find the relationship between length of the ruler and frequency. What should we do to the ruler to get twice the frequency?

6.3 Pitch and length 2 with a straw

Take a drinking straw. Flatten the end of the straw and cut out a triangle. Place the end of the straw in your mouth, holding your lips just where the cut ends and blow until an oboe sound is produced, shifting the straw a bit in or out of the mouth might help to get the right sound. Then while blowing, cut off small pieces of the straw Liem (1987).

What did we learn? One can take another straw, cut the triangle at the end, and cut hole at 1 – 1.5 cm distance from each other. While blowing open and close the holes with your fingers. What did we learn? Which musical instruments work like that?

6.4 Standing waves in a PVC tube open and closed

Take two pieces of PVC pipe, for example 10 cm and 20 cm long. Blow across the opening of one pipe. It produces a clear tone. Then close the bottom opening with your hand, and blow again. The tone is now much lower, very noticeable. With both ends open, the pipe fits $\frac{1}{2}$ of a wavelength ($\lambda = 2l$). With one side closed, it fits $\frac{1}{4}$ of a wavelength ($\lambda = 4l$). It does help to have a microphone and sound box in the room to make the effect better audible for a group. I have done it with a sound system for groups of 150+ students.



Figure 6.1: Picture from ShowthePhysics (Pols & Dekkers, 2024)

6.5 PVC pipe length and pitch

Then take the longer pipe and show again the link between pitch and length. One could make something similar to a pan flute using pieces of PVC pipe. You could assign students the task of figuring out the proper lengths given the desired frequencies.

See also ShowthePhysics for a more extensive version of this demo.

6.6 Measuring pitch with a telephone

Now if you came to class to teach about sound, you would bring a little toy flute? Can students measure the pitch with their telephones?

6.7 Mobile phone and graphing sound waves

Use Phyphox or a similar program. Try to produce a near perfect sine wave. Ask a student who sings in a choir to sing an “o”. Try a higher pitch, try a lower pitch. Try louder and less loud. Make sure not just to quickly show this on your small telephone, but sketch the graphs on the white or blackboard with clear names. Obviously much more can be done with mobile phones and graphs. For example with Phyphox.

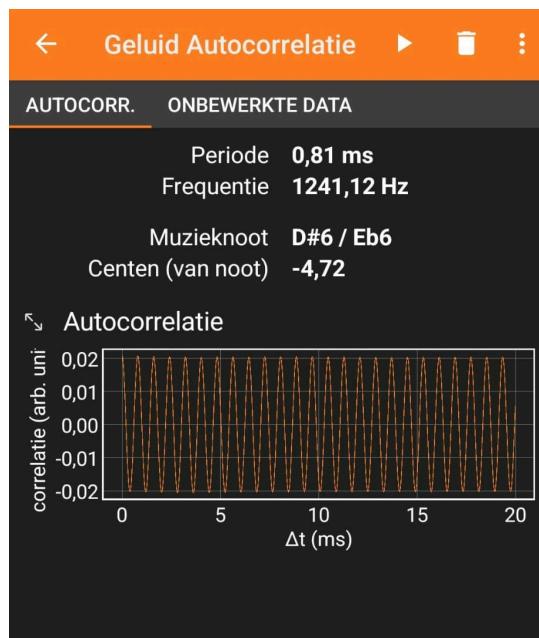


Figure 6.2: Sound recorded using the phyphox app.

6.8 Resonance in a bottle

Does somebody in class have a bottle? Some water in it yet? Or some soft drink? The instructor will drink a little bit at a time, then blow over the bottleneck to produce a sound and tick against the side of the bottle (hopefully glass). By the time the instructor gets through drinking the soft drink, one pitch has gone down consistently, the other has gone up. Now explain.

6.9 Resonance in a tea or coffee cup with ear

The teacher entered the classroom with a (ceramic) cup of coffee and a (metal) spoon. Hit the outside of the cup with the spoon at different places. The pitch will be different, for example near the ear of the cup, or 90 or 180 degrees away from it, under and above the level of coffee. Drink some of the coffee and repeat. How do you explain the differences in

pitch and type of sound? Different resonance modes are activated as well as different lengths of the liquid column. For more information see Show de Fysica 3 p56.

Note

this works with some cups and not with others

6.10 $v_{sound} = f\lambda$ but velocity is independent of frequency and wave length!

Find some objects in the room, which can help you to simultaneously make a high pitch and low pitch sound and try to have students in the back judge for simultaneity of arrival of the sounds. Not so convincing? Imagine a big church or concert hall, how come choir music (try students in class) or any music at all is possible and is enjoyed by people regardless of their distance from the source? So the speed of sound must be the same for all audible frequencies so that luckily we can enjoy music.

6.11 Doppler simulation with marching students

Take 5 or 6 students and line them up in a row in front of the class. The students are wave peaks (say compressions). Now let them march as a row towards the instructor at constant speed and students can observe how many pass the instructor in say 10 seconds. Now let them march again at the same speed, but the instructor also walks towards them. The instructor will meet the wave peaks in a shorter time than before and will observe a higher pitch. Repeat again but now the instructor is walking (slowly) in the same direction as the faster marching waves. The case of a moving source is more difficult to do this way but from the moving observer simulation, the students will happily accept a Doppler effect for a moving source.

7. Liquids and air

An article with 30 demonstrations with a glass of water is available from the author and in GIREP proceedings Berg (2021). These demo's cover mechanics, liquids, optics, waves, and even electricity.

7.1 Liquids: Anybody with nail polish, coca cola, or something else that is liquid?

Whatever container or bottle is there, use it to show that the liquid surface is always horizontal; look at the edges of the meniscus: adhesion, cohesion; look at waves on the surface when disturbed with a pencil, study how easily the liquid goes down when the bottle is turned over, or is it slow and sticky?

7.2 Floating and sinking

Take all kinds of materials and objects and see whether they float or sink in a glass of water. Students would have lots of objects in their pockets. Some materials like clay or aluminum foil would sink, but if folded might float. From aluminum foil one could fold boats that can carry a load and still float. A Kindergarten class tried to fold pieces of foil of fixed area such that they would hold the maximum number of tiny St. Nicholas presents (tiny blocks or Lego pieces). This could be a teacher led demonstration, but also a brief activity by student pairs.

7.3 Floating and sinking

Anybody brought a tangerine? Will it sink or float in water? Why? Try it out. Then peel it and try again (figures 1 and 2). Try other kinds of fruits and explain the results.

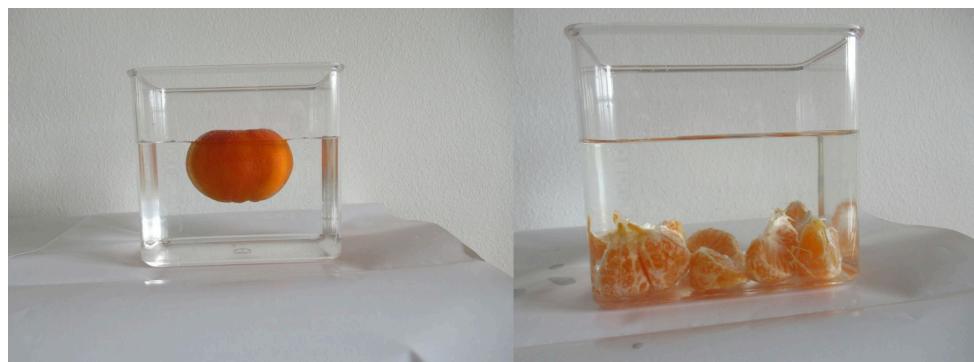


Figure 7.1: A tangerine floats and sinks...

7.4 Adhesion in a glass of water

See how the meniscus of water in a glass stands up to the wall, adhesion, that is attraction between two different substances, in this case glass and water.

7.5 Adhesion on a penny

Rinse a penny or other coin in tap water and dry completely and put it then on a paper towel or paper handkerchief. How many drops will fit on the penny? Record some predictions on the board. Then add drops one by one with a dropper until any amount of water runs over the edge of the penny. If you have more droppers, students can do this in their seats (Hammack & DeCoste, 2016).

7.6 Adhesion and crumbs

Another example is picking up crumbs of cookies or bread from a plate, we lick our finger first and then the crumbs stick to it. That is an example of adhesion between water and crumbs. In class demonstrate this with a wet finger and very small pieces of paper like those coming from a perforator or -tastier- try cookie crumbs.

7.7 Capillarity 1

If you do have a very thin glass tube, then stick it into a glass of water and see the water move up ... capillarity. Otherwise, take a piece of paper and dip in one end, the water will move upward in the paper. Try different kinds of paper. With the hair of a paintbrush or human hair, the same phenomenon occurs, "capilla" is the Latin word for hair. Capillarity can be seen as a tug-of-war between adhesion and gravity (Rogers, 2011, p95). Water creeps up the glass wall due to adhesion and is pulled down by gravity. In very thin tubes the gravitational pull on the water creeping up the wall is smaller compared to adhesion than in wider tubes. Adhesion scales with surface area and gravity with volume. Capillary tubes have a large surface area compared to their volume.

7.8 Capillarity 2

Bring a sugar cube and a cup of coffee from the teacher room. Dip the edge of the cube in the coffee. Coffee will quickly *climb* into the cube, capillarity!

7.9 Cohesion

Fill a glass all the way to the top with water but such that the surface of the water is still concave. Then collect coins from your students. How many coins can I add without letting the water overflow? Then carefully insert the coins. Lots of them can be inserted in the water. In the end the water will bulge higher than the rim of the glass but it will still not flow down along the sides of the glass: cohesion!

7.10 Adhesion and cohesion

Use a straw or other means to make a drop of water on the table. Use different materials as surface (glass, wood, metal, plastic, paper). Rub some fat or wax on the table. Does that make a difference in the shape of the drop? Add some soap or detergent to the water. Does it make a difference in the shape of the drop? On which kind of surface is cohesion at a maximum? At what kind of surface is cohesion at a minimum?

Why is a drop of water round and the surface of a lake flat? This is the contest between surface forces and gravity. Think of a cube with side a , surface area $6a^2$, and volume a^3 . Let a increase, then the surface area thus also surface forces scale as a^2 . The volume thus also volume forces like weight scale as a^3 ! With large amounts of water the volume forces dominate and so the surface of a lake is flat. With small amounts (a drop and smaller) the surface forces dominate such as with surface tension and capillary phenomena. A beautiful discussion can be found in (Rogers, 2011, p92).

7.11 Floating on convex and concave surfaces

Fill a glass of water until just below the edge (concave surface) and then fill another glass carefully until the water level is over the edge of the glass but the water does not drip down the outside of the glass. Draw the two situations on the blackboard or whiteboard. We are going to put a ping-pong ball (or anything that floats) on top of the water surface. Which way will it position itself, in the center or against the edge of the glass? Let students draw their prediction in their notebooks. Walk around to take a look and ask a

few students for a reason. Then drop some floating material on the surface such as a ping-pong ball or pieces of cork or anything that floats. And then let students explain, perhaps first in small groups of two or three. In the end draw some explanations on the board and discuss. The ping-pong balls or other floating objects will go to the highest position and displace the denser water downward. Objects that sink will displace water upward.



Figure 7.2: Meniscus below the rim (concave, hollow).



Figure 7.3: Meniscus above the rim (convex).

7.12 Chromatography

Take a strip of paper, make a big dot with a black marker. Then hang the edge of the paper in water. The water will move up (capillary motion), pass the black dot, and beyond that one will see a separation of colors. The different pigments in black ink move at different speeds in the water. That is how pigments can be separated. The same principle

is used with chromatography which can be executed with different liquids and even different gases. Google on chromatography in the classroom and you will see many experimental possibilities.

7.13 Air pressure and liquids

Take a straw and a glass of water or better tea for visibility. Dip the straw in the water, close the top with a wet finger, then lift the straw out of the water while keeping the top closed. Why does water remain in the straw? This is a way to transfer small amounts of water. In a traditional pipette, one can suck up a liquid and measure exact amounts using the markings.



Figure 7.4: Water stays in the straw when your finger closes the lid.

7.14 Air bubbles

Now close the top of the straw with your finger before inserting it. Now the water level in the straw will be below the water level in the glass. The latter will be clearer when we have a basin with water and push a glass upside down into it. There is something which prevents the water from coming in, air. The air in the glass can be compressed, but not all the way. Students can be reminded of their experiences when washing dishes. Try to pass air bubbles from one glass to another in the basin. Bubbles will move to the highest point available. Or stick a straw up to the bottom and blow air through it. The bubbles will move straight up in the water.

7.15 Transferring air bubbles under water

Take two glasses under water in a basin. One is filled with water, the other is pushed upside down into the water thus is filled with air (see previous demo). Try to transfer the air to the other glass. How would you do that? Play around a bit with the air bubbles, it is fun.

7.16 Air occupies space

Take a basin with water, a glass with a piece of paper handkerchief at the bottom, turn the glass upside down and push it into the basin (figure 7). Does the handkerchief get wet? What prevents it from getting wet?

7.17 Carbonated drinks

There always is a student with a carbonated drink in the bag. At the factory the CO₂ is mixed with the drink. As CO₂ has a lower density than water or whatever drink, it will tend to escape from the liquid and from the bottle. When opened, the pressure releases. When put in a glass we see bubbles rising. Why don't bubbles rise when the bottle is still closed? There seems to be an equilibrium between the CO₂ above the liquid and the dissolved CO₂. Once opened the pressure in the top of the bottle is reduced and more of the dissolved CO₂ rises to the surface.

7.18 Pressure, bubbles, straws

At the 1998 GIREP meeting Leon Jablko (1998) presented a series of pressure experiments with straws and glasses of water. The series could be teacher demo's, or synchronized teacher and student demo's, or it could be a student lab investigation. For example, take a shorter and a longer straw, blow with slowly increasing pressure through the two straws. At a certain pressure bubbles will emerge from the short straw and not from the long straw. Deeper in the water higher pressure prevents the air bubbles from coming out.

7.19 Atmospheric and liquid pressure, cohesion and surface tension

Shouldn't there always be a glass of water in the room? If so, then first have somebody help you to spread your clean handkerchief horizontal and pour water from the glass through the handkerchief to water the plants. Then put the handkerchief over the top of the glass with the remaining water (have a refill up to $\frac{3}{4}$). Make sure the wet part of the handkerchief covers the open end of the glass. Then turn over (figures 9 and 10). Surprise, a little water comes out, the rest stays. While the glass is upside down, walk around the room to show. Point to the shape of the part of the handkerchief that "supports" the water. Explain by applying Boyle's Law to the trapped air and by the need for the sum of pressures/forces on the handkerchief to be zero. $P_{airoutside} = P_{airtrapped} + \rho gh$ where ρ is the density of water and h is the height of the water column. The cohesion and surface tension of water helps to make the handkerchief impenetrable. I have done it with a strainer also, more spectacular but it requires more preparation as not all strainers work. Of course, if students bring any drinks to class, one could try which liquids work and which do not and the instructor can have a good time. *Anybody with beer?*



Figure 7.5: scan the QR code to open the link or click [here](#) to open the link.

7.20 Projectile motion with water

Many students bring plastic water bottles to class. With a pin or your knife make a little hole in the side of the bottle, just above the bottom. Water will come out and make a beautiful parabola.

7.21 Liquid pressure

Same bottle, screw the top tight. Water will still come out of the hole, but for how long? Does it stop? What happened to the pressure inside the bottle while the water was still going out? Consider a drop of water near the hole, draw the forces on the drop.

7.22 Liquid pressure and free fall

Bottle without top but with the hole. Water will come out, now drop the bottle. Did water come out while the bottle was falling? Why not? Repeat with the lid on (same result). What will happen in the space station if you turn a bottle upside down with the lid off?

7.23 Emptying bottles

This experiment requires a basin unless you hold the bottle outside an open classroom window. Turn the bottle with water upside down. The water will come out in bursts. It is difficult for air to come in and replace the water. Then swirl it to make the water rotate. Now the water will flow out continuously as air can flow in through the center to replace the water. You can also just tilt the bottle such that air can flow in while water is flowing out. If you have a basin, you can hold a competition between the vertical bottle without swirl, one with swirl, and the tilted bottle. Which one is empty first?

7.24 Emptying beakers/glasses

Put 2 or 3 pairs of students in front of the class, each with a table with a small bottle of water half full, a straw, and an empty glass. The task is to empty the bottle without lifting it. Some students will cleverly think that the straw could be used as a siphon. By blowing through the top of the bottle (with the straw siphon) one could even reinforce the working of the siphon (by blowing increasing the pressure above the water surface), however, just sucking up the water into the mouth and then spitting it into the glass works faster. Use this opportunity to ask students again to explain the physics of a straw and of a siphon.

7.25 Not free fall of stones in water

In air stones fall with the same acceleration g . But how is that in water? Take stones with a different surface area to mass ratio and drop them in a basin with water. Which one will sink faster?

7.26 Liquid versus vapor balance, relative humidity, saturation, open versus closed container:

Take two containers of water, one with an airtight lid and one without, put them on the windowsill in the sun. Figures 11 and 12 show the differences. In figure X we see condense on the inside of the glass above the water. The air above the water is saturated, 100% humidity, so water that evaporates will condense again. In figure Y we do not see this, any water that evaporates goes into the air, so the air right above the water is unlikely to reach 100% humidity unless the room is extremely humid.

7.27 Bernoulli and a candle flame

Light a candle, why does the flame point upwards? The heated air above the flame expands and becomes less dense. The burning gases along the wick move towards the location with the lowest density (lowest pressure). When I blow softly at the flame without extinguishing it, which way does the flame go? In the direction of the blow. And when I blow through a straw on one side of the candle? Then the flame bends towards that side, as there is the lowest pressure, a nice illustration of the Bernoulli effect.

Explanation for a younger audience: I blow some air away, the burning gas is pushed to the place with least air.

7.28 Lift water by blowing

Use two transparent straws or cut and bend a straw as in figure 16. Take a glass of water. Position part of the straw in the glass, bend the rest (with a partial cut) horizontal. Then blow in the direction of a vertically held piece of paper. It gets wet. Use some ink or food coloring to make it more visible. Explanation? Fast moving air has a lower pressure, thus

the water is sucked up through the vertical part of the straw and sprayed onto the paper.
Practice a little bit before the lesson.

8. Magnetism, electro-magnetic induction

8.1 Properties of magnets

Make an inventory of where we encounter magnets. Does anybody have something with a magnet, to close a bag, or a telephone cover, whatever? It is unlikely that there is no magnet in a bare classroom with students. Then find out where are the poles, what are the shapes of the magnets, which materials are attracted and which are not, etc.

8.2 Magnetizing a needle

Once there is a magnet in the classroom, there would also be a needle that can be magnetized. Just rub with the magnet along the tip of the needle and then try whether the needle can now also attract or be attracted to iron objects.

8.3 Magnet in mobile phone holder

The function is to sense when the phone is used and when it is closed in order to switch the screen on and off thus preserve battery charge. There are more magnets in the phone, such as in the microphone and in the speakers to convert sound into electric signals (microphone) and the other way around (speakers).

8.4 Compass

Does anybody have a pocket knife with a compass? Show inclination and declination. Use the compass to indicate North, is that really the true geographical North? If there is a globe in the room, you can indicate the difference between magnetic and geographical North pole. The magnetic one is somewhere between Greenland and Canada. Use strings on the globe to make the declination visible on the surface of the globe, one string from your location to the geographic North pole, and one from your location to the magnetic pole. The difference in direction is the angle between the strings. *Can you point to a location on the globe for which the declination is 180 degrees? And a location for which declination is 0 degrees?*

8.5 Generator 1

Is there a student in the room who still has a bicycle with an old-fashioned dynamo and working lights? Agree with the student that next lesson (s)he takes the bicycle to the classroom. Show how the light intensity varies with the speed of the wheel. You might only see one wire but there are clearly two poles and two paths for the current, point out how that works on this particular bicycle.

8.6 Generator 2

Of course, I do hope you have proper demonstration equipment to demonstrate a generator and an electric motor.

8.7 Electric motor

One of my teacher education students made a functioning electric motor using one battery, some Neodymium magnets and a copper wire bent in a clever way (Figure 1 and video). A more reliable design is shown in a simple video (Figure 2). Yet more clear instructions can be found here.



Figure 8.1: Making a simple electric motor with a battery, wire and magnet.

8.8 Visualizing magnetic fields in coils

Use any kind of rope available or even the long strap of a bag and illustrate how one could wind a coil for clockwise or anti-clockwise current. Use the righthand rules to show how to find the direction of the magnetic field generated by a winding if the direction of the current is known.

8.9 Visualizing magnetic fields around wires

Let a student in front of the class each hold a rope or bar vertically. Imagine that these are current carrying wires with the current going up in both ‘wires’. Let another student illustrate application of the right-hand rule to find the direction of the magnetic field of each of the wires. With equal and parallel wires, do the fields between the wires add up or subtract? Now imagine opposite directions, let the student again illustrate the right-hand rule. Do the fields in between add up or subtract?

8.10 Visualizing the Lorentz force

Same situation as above, let a student use the right hand to illustrate the direction of Lorentz force on each wire, both in the parallel case (attraction!) and the anti-parallel case (repulsion). If you do have the equipment, then show!

8.11 Lorentz force in a coil

You always have your slinky with you. Hold the top end so the slinky is suspended from your hand. Propose that the direction of the current in this ‘coil’ is from right to left in the part of the slinky facing the students. Now let pairs of students figure out the direction of the Lorentz force on two successive windings. If there were a current, would the slinky become shorter or longer? If you do have the equipment, then show!

8.12 Magnetic brake

Take a string, attach a nail or paperclip, and attach the neodymium magnet to the nail or paperclip. We can now have a hand-held pendulum which will swing like any other pendulum. Take a piece of aluminum foil or better yet a sheet of copper or aluminum of say 5 x 5 cm or 8 x 4 cm whatever. Hold the magnet against the metal sheet and show that there is no attraction. Then let the pendulum swing free at first and then over the copper or aluminum sheet. It stops! Why? The moving magnet induces Eddy currents in the metal sheet. There is energy transfer from pendulum to the metal sheet.

9. Warmte en temperatuur

9.1 Temperatuurgevoel

Sommige lokalen hebben warm en koud water. Als dat er niet is, even een leerling de klas uit sturen om 3 bekertjes water te halen: heet, lauw, koud. Dan leerlingen 1 vinger in het hete en 1 vinger in het koude water laten houden, en dan beide vingers in het lauw water te brengen. Wat voelen ze?

9.2 Temperatuur optellen of niet? Intensieve versus extensieve variabelen

Je hebt twee halve glazen water elk op de omgevingstemperatuur. Nu giet je ze bij elkaar, de temperatuur wordt dan 20 °C, 40 °C, of iets minder dan 40 °C? Er zijn leerlingen die kiezen voor die 40 °C en die temperaturen optellen. Misschien toch even goed om die leerlingen te confronteren. Als temperaturen optelbaar waren, dan zou je water kunnen koken door 5 glazen van 20 °C bij elkaar te doen. Koken zonder energie! Deze demo kan ook een startpunt zijn voor discussie van intensieve en extensieve grootheden.

9.3 Warmte en wrijving

Wrijf enkele kerentjes stevig in je handen. Wat voel je? Rek een elastiekje een aantal kerentjes achter elkaar uit en dan vlak boven de bovenlip de verhoogde temperatuur voelen, mechanische energie wordt omgezet in thermische energie.

9.4 Geleiding

Laat leerlingen verschillende materialen voelen, bijvoorbeeld metaal van de stoelen, hout, kunststof, textiel. Hoe warm voelt het? Kunnen die materialen in hetzelfde lokaal wel verschillende temperaturen hebben? Als de temperaturen dan toch gelijk zijn, waarom voelt het dan toch verschillend? Geleiding! Metalen nemen gemakkelijk warmte op van de vingers/handen want die warmte-energie verspreid zich direct over het hele metalen voorwerp. Als je na het aanraken van het metaal met dezelfde vingers de bovenkant van je andere hand aanraakt, dan voelt het koud. Het oppervlak van de vingers is duidelijk afgekoeld door aanraking van metaal. Aanraken van hout voelt niet koud aan.

9.5 Stroming

Wat zijn de warmste plekken van ons lichaam? Wat de koudste, bijvoorbeeld ‘s winters buiten? Verklaring? Stroming, bloedsomloop, afstand tot slagaderen en tot het hart. Hoe zit dat bij vogels die lang met de poten in koud water staan te vissen, bijvoorbeeld reigers? De bloedbaan naar beneden ligt vlak naast de bloedbaan naar boven. Koud bloed dat uit het onderste deel van de poten terug naar boven stroomt, wordt verwarmd door warmte uit de bloedbaan naar beneden.

9.6 111. Rollenspel smelten-verdampen-koken-condenseren-bevriezen

Maak een beetje ruimte en neem een groep van 15 leerlingen en zet ze voor de klas in drie rijen van 5 met het gezicht naar de klas. Arrangeer ze netjes als atomen in een kristalrooster. Start met de absolute 0 Kelvin temperatuur. Ze bewegen een beetje (er is enige beweging bij absoluut zero, denk aan Heisenberg). Laat vervolgens de temperatuur toenemen en leerlingen bewegen steeds iets wilder heen-en-weer maar rond een vaste positie. Dan wordt het smeltpunt gepasseerd. De leerlingen bewegen nu in een soort van kluwen, geen vaste positie meer, maar ze blijven wel bij elkaar. Af en toe kan er een

losraken door verdamping, dat gebeurt alleen aan de buitenkant en overkomt slechts een klein deel van de atomen. Passer het kookpunt, nu vliegt iedereen alle kanten op, snelheid beperkt nu de invloed van onderlinge aantrekkingskracht. Laat de temperatuur vervolgens weer afnemen. Beweging wordt wat langzamer, elkaar ontmoetende atomen kunnen aan elkaar blijven kleven of nog beter aan een koud oppervlak (“condensatie kern”). Nu hebben we weer die kluwen van atomen die elkaar aantrekken maar die geen vaste plek hebben. Verlaag de temperatuur nog wat, en iedereen komt terug in het kristalrooster. Zorg voor voortdurende discussie en heen-en-weer denken tussen echte atomen/moleculen en dit model van dansende leerlingen: Temperatuur gaat omhoog, wat moeten we doen? Als niet alle leerlingen voor de klas passen, laat dan de achterblijvers de choreografen zijn die aangeven wat de dansende atomen moeten doen. Geef aan het eind ook aan waarin dit dansende leerlingen model verschilt van de atomen, bijvoorbeeld mensen verschillen van elkaar, atomen en moleculen niet; het rollenspel is met een zeer klein aantal “deeltjes”, bij atomen/moleculen heb je altijd met zeer grote aantallen te maken.

9.7 Smelten en plaattectoniek

Heeft iemand chocolade in zijn tas? Haal de verpakking eraf en houd hem in je hand terwijl iedereen werkt aan deze opdracht (geef ze een opdracht). Na een paar minuten: Laat je hand zien aan de klas, wat is er gebeurd? Ja, de chocolade is gesmolten. Dit is hoe smelten eruit ziet. Wat denk je dat de smelttemperatuur van chocolade ongeveer is? Chocolade smelt toevallig ergens tussen 33 en 37 °C, net onder de lichaamstemperatuur. Dus stop geen chocolade in je zak. Het langzame proces van het smelten van chocolade is leuk om te bekijken. Denk aan de asthenosfeer, de 3000 km dikke laag om de aarde die bestaat uit warme half-vloeibaar steen onder de tectonische platen die bestaan uit steen. Ik vergelijk het altijd met boter of halfgesmolten chocolade. Zo kan het stromen en de tectonische platen een paar cm per jaar meebewegen.

9.8 Afkoelingseffect van kleine openingen

Adem uit met de mond wijd open en voel dat op je hand (warm), blaas vervolgens door een kleine opening van de mond (koud (Hewitt, 2015)). Alle leerlingen even zelf laten doen en voelen. Expanderende lucht koelt af. Lucht die samengeperst wordt, warmt op (voel onderaan fietspomp, laat een leerling even een fietspompje halen). Een student wees ons op een alternatieve uitleg: entrainment, dat de door een kleine opening uitgedemde lucht mengt met omgevingslucht en daardoor kouder voelt. Een toets daarvoor zou zijn om de temperatuur van die uitgedemde lucht te meten. Indien boven omgevingstemperatuur, dan entrainment, indien beneden omgevings temperatuur, dan is er een nozzle en expansie effect.

9.9 Afkoeling bij verdamping

Eén van de meisjes heeft vast zoiets als nail polish remover of deodorant. Laat een druppel daarvan op de rug van de hand vallen van een leerling voor de klas en die voelt het kouder worden. Ondertussen verdamp de vloeistof. Of probeer schoonmaak alcohol of aceton. Natuurlijk is het mooier als iedere leerling dit kan voelen. Geef het meisje een paar Euro ter compensatie voor het gebruik haar nail polish remover.

9.10 Verdamping en condensatie

In de winter beslaan de ramen. Kijk eens naar buiten. Hoe komt dat? Ons dubbelglas maakt het steeds moeilijker dit te zien. Neem anders een glas kraanwater en adem er op. Het glas beslaat. Geen glas aanwezig? Adem op het raam, ook bij dubbel glas is

condensatie te zien. Of laat al je leerlingen uitademen op een glad oppervlak, liefst glas, maar metaal werkt natuurlijk ook goed. Als het oppervlak maar koeler is dan de adem en dat is in ons land bijna altijd het geval. Uitademen op een glas gevuld met water warmer dan 37 °C is natuurlijk ook interessant, waarom nu geen mist op de buitenkant van het glas?

9.11 Verdamping en diffusie, ijking/kalibratie

Parfumflesje open maken in een hoek van het lokaal, na enige tijd is het op steeds grotere afstand te ruiken. Er is vast wel een meisje dat parfum bij zich heeft. Je kunt haar altijd een bijdrage geven voor een nieuwe aankoop. Je kunt leerlingen hun vinger op laten steken wanneer ze het ruiken en zo de verspreiding in kaart brengen. Dat is ook een mooie opstap naar ijking/kalibratie van sensoren, want de gevoeligheid van de neuzen van leerlingen zal enorm variëren.

9.12 Sublimatie

Het bovenstaande experiment zou ook moeten werken met een vast stuk zeep, dat zou ergens op de school wel te vinden moeten zijn. Als dat niet zo is, kijk dan of de leerlingen vaste stoffen in hun tas hebben met een geur (eten?). Sublimatie! Of is het een vast materiaal waar een gas dat we ruiken in zit en is het geen sublimatie?

9.13 Energietransport: geleiding, stroming, verdamping, straling

Onthoud dat “warmtetransport” plaats kan vinden door geleiding, stroming, straling en verdamping (wat een speciale vorm van stroming is). Warmtetransport is eigenlijk een verkeerde term, omdat warmte gedefinieerd is als energie die beweegt tussen twee systemen, dus als energie in transport. Een betere term is dus misschien transport van thermische energie. Desalniettemin hier een klein experiment; neem je hete kopje koffie van de lerarenkamer mee naar de klas. Hoe koelt de koffie af? *Wat is geleiding? Hoe kan ik dat voelen?* Raak de zijkant van het kopje aan. *Wat is stroming? Hoe kan ik dat voelen?* Houd je hand boven het kopje. *En hoe zit dat met verdamping? Hoe kan ik dat laten zien?* Houd een koud voorwerp (zoals een schoteltje) recht boven het kopje en er zullen druppels vormen onder het schoteltje, omdat de verdampende koffie condenseert op het koudere voorwerp. *Wat is straling? Hoe kan ik dat voelen?* Houd je hand een kleine afstand van het kopje, of zelfs beter, leen een waterkoker van de lerarenkamer.

9.14 Water warm houden

Neem twee bekers met warm water, of nog beter, neem een volle thermosfles, twee bekers en nog wat materialen zoals schoteltjes, een handdoek en een oude krant. *Ik ga deze twee bekers vullen met warm water. Hoe kan ik ze zo lang mogelijk warm houden? Hoe voorkom ik geleiding, hoe voorkom ik stroming en verdamping, hoe voorkom ik straling?* Vraag de leerlingen om mee te denken en isoleer daarna een van de twee bekers, de andere gebruik je als controlegroep. Twee termometers zouden hier helpen, anders kan je de vinger van een leerling gebruiken. Terwijl je wacht op het afkoelen kan je de leerlingen een paar vragen of een opdracht geven om over na te denken. Ik deed dit altijd als labactiviteit met mijn leerlingen, maar dan met thermometers. In de eerste ronde meten ze gewoon het afkoelen van twee open glazen om te oefenen met temperatuur-tijd metingen. In de tweede ronde isoleren ze een van de glazen hoe ze maar willen en vergelijken ze dat met het ongeïsoleerde glas. In de derde ronde leren ze eerst over energietransport door geleiding, stroming en straling, en herontwerpen ze daarna de isolatie. De derde ronde leverde best goede Joule meters op, goed genoeg om soortelijke warmte experimenten te doen (Berg et al., 1997).

9.15 Water snel afkoelen

Je zou ook het tegenovergestelde kunnen doen. Neem een heet kopje koffie mee van de lerarenkamer. *Dit is te warm om te drinken, maar wat zou ik kunnen doen om het snel af te koelen?* Roeren? Over de bovenkant van het kopje heen blazen? Hoe verhoudt dit zich tot geleiding, stroming en verdamping? (Roeren stimuleert afkoelen aan het oppervlakte door stroming/verdamping. Over de bovenkant heen blazen haalt de verdampende en verzadigde koffie-/waterdamp weg en versnelt het afkoelen dus door verdamping).

9.16 Geleiding, stroming, straling met een lucifer of aansteker

Dit zijn misschien geen normale voorwerpen om in een klaslokaal te hebben, maar zouden wel altijd in de zak van een natuurkundeleraar moeten zitten. Met de lucifers kan je geleiding laten zien (houd een metalen voorwerp in de vlam), stroming laten zien (houd je hand boven de vlam, maar niet te dichtbij) en straling laten zien (houd je hand aan de zijkant van de vlam, op een afstand).

De volgende experimenten met kaarsen kunnen gedaan worden door de leraar (met een grote kaars in een donkere kamer en bij voorkeur met een webcam), of tegelijk door een leraar en leerlingen op hun bureau, of als een lab oefening voor de leerlingen. Als de leerlingen dit op hun bureau doen zijn er natuurlijk meer kaarsen en lucifers nodig en dan is dit geen broekzak demo meer.

9.17 Kaarsen en vlammen beschrijven en vragen formuleren

Elke natuurkundeleraar zou standaard een kaars in zijn tas moeten hebben, net als een ballon, een lineaal en lucifers. Laat leerlingen beschrijven wat ze zien: a. nog niet aangestoken kaars, b. aangestoken kaars, c. net uitgedoofde kaars. Laat ze nadenken over een verklaring en verdere experimenten om hun uitleg te testen. Bijvoorbeeld: de nog niet aangestoken kaars bestaat uit was en een lont. Kan de was zelf worden aangestoken met een lucifer? (Nee) Wat is de functie van de lont? Kan vloeibare was worden aangestoken met een lucifer? (Nee) Teken een vlam, inclusief de kleuren. Er lijken drie delen te zijn: blauw, grijs-groen en helder groen. Welke vragen kan je daarbij stellen? Zie ook Faradays 1860 mooie en leesbare beschrijving van experimenten met kaarsen in (Hammack & DeCoste, 2016).

9.18 Kaars, wat brandt er?

Probeer de vaste was aan te steken, dit brandt niet. Kijk naar de gesmolten was, alsof die niet brandt. Keer de kaars om en de vlam dooft uit. De vloeibare was doodt de vlam! Wat is het dan dat precies brand? Steek de kaars aan, doof hem uit en houdt snel een aangestoken lucifer ongeveer 5 - 10 cm van de kaars in de wit-achtige rook. Er is weer een vlam! Het was de *damp* van de was die makkelijk kan worden aangestoken. Als de lont wordt aangestoken dan brandt deze, smelt hij de was, verwarmt hij de was totdat de damp omhoog komt langs de lont door de *capillaire werking* en de damp is wat brandt. Er is een kleine afstand tussen de vloeibare was en de onderkant van de vlam, dus de damp brandt een paar millimeter boven de vloeibare was Hammack & DeCoste (2016).

9.19 Het patroon van de temperatuur van de vlam ontdekken 1

De uiteinden van onontstoken lucifers kunnen gebruikt worden als temperatuursensoren. Als je ze langzaam steeds dichter bij een vlam houdt, zullen ze op een bepaalde afstand in brand vliegen. Dat is de afstand waar de temperatuur hetzelfde is als de ontstekings temperatuur van het materiaal op het uiteinde van de lucifer. Probeer dit op verschillende plekken rond de vlam en je krijgt een “isotherm” van de

ontstekingstemperatuur rond de vlam. Aan de onderkant van de vlam kan je redelijk dichtbij komen met een lucifer. Aan de bovenkant van de vlam ontsteekt de lucifer al bij een veel grotere afstand. Leg uit! (Liem, 1987) (p205).

9.20 Het patroon van de temperatuur van de vlam ontdekken 2

Ontdekken kan ook gedaan worden door de leraar met een papiertje. Houdt een papiertje horizontaal boven de vlam en kijk naar het verbrande patroon. Je kan natuurlijk ook strookjes papier gebruiken voor de vorige demo in plaats van lucifers. De karakteristieke ontbrandingstemperatuur van papier is meestal tussen 200 en 300 °C.

9.21 De producten van de vlam van een kaars

Wat zijn de producten van de vlammen van een kaars en hoe kan je ze zien? Brandende koolwaterstoffen zouden water en CO₂ moeten produceren. Waterdamp kan makkelijk gecontroleerd worden. Gebruik een metalen of glazen voorwerp, maak het droog en houdt het in de buurt van de vlam. Er zouden druppels water moeten vormen op het voorwerp. Zie <https://engineerguy.com/faraday/pdf/faraday-chemical-history-complete.pdf>. Zie <https://www.candles.org/candle-science> voor interessante wetenschap die te maken heeft met kaarsen.

9.22 Voorkomen dat zuurstof bij de vlam van een kaars komt

Steek de kaars aan en zet een groot glas ondersteboven over de vlam heen. Wat gebeurt er? De vlam dooft uit, er is geen zuurstof meer. Gebruik als dat mogelijk is drie dezelfde kaarsen met drie glazen met verschillende grootte. Welke vlam zal als eerste uitdoven? Er is dus iets in de lucht dat de vlam nodig heeft. Meer lucht zorgt voor meer van dat bestandsdeel (zuurstof).

9.23 Stijgend water

Laat een kaars drijven op water in een kom, steek de vlam aan en zet er een omgekeerd glas overheen. Als de vlam uitdoft, zal het water in het glas stijgen. Er zijn twee oorzaken voor het stijgende water. De eerste is de zuurstof die opgebruikt is en maar gedeeltelijk vervangen is door CO₂. De andere is het uitzetten van lucht wanneer de vlam aan is, er zal zelfs wat lucht onder het glas vandaan ontsnappen. Als de vlam uitdoft, zal de lucht weer krimpen en zal de waterdamp condenseren. Dit resulteert in een lage druk onder het glas, dus zal de luchtdruk buiten het glas het water naar binnen duwen.

9.24 Stroming rond de vlam van een kaars

Wat heeft een vlam nodig? Zuurstof en brandstof. Wat zou er gebeuren als er geen stroming is rond de vlam? De vlam dooft dan uit. Hoe kunnen we de stroming van lucht zichtbaar maken voor onze leerlingen? Je zou kunnen zeggen dat de vlam een soort windvaantje is, kijk maar naar de vorm. Een andere indicator is de beweging van de rook na het uitdoven van de vlam. De rook gaat naar boven. Je zou ook kunnen proberen om de stroming op verschillende manieren tegen te houden en te kijken welke invloed dat heeft op de vlam.

9.25 Stroming: Theezakjesraket

Haal een theezakje uit de lerarenkamer, maak het open aan twee kanten, haal de thee eruit, en maak van het theezakje een cilinder die je rechtop zet. Zorg dat er niets brandbaars in de buurt is en steek de cilinder aan van de bovenkant. Warme lucht zal naar boven toe bewegen (stroming). Op een gegeven moment zal het niet verbrandde deel van

het theezakje licht genoeg zijn om met de lucht mee naar boven te bewegen. Zie (Liem, 1987, p208) voor goede vragen om te stellen en uitleg om te geven. Er zijn veel filmpjes.

9.26 Geld overleeft het vuur

Na de pandemie hebben mensen vaak kleine flesjes met alcohol in hun tas. I heb dit vooral veel gezien in de Filippijnen, daar hadden vrouwen ze zelfs aan hun tas hangen. Dit maakt het beroemde experiment waarin je geld verbrand mogelijk in een leeg klaslokaal. Neem een glas of beker, voeg een beetje water toe (voordat de leerlingen het lokaal binnen komen), voeg evenveel alcohol toe (wanneer de leerlingen al in het lokaal zijn). Meng de twee vloeistoffen. Een klein beetje zout kan leuk zijn om te zorgen dat de vlam een kleur krijgt. *Wie heeft er een briefje geld?* (Of gebruik je eigen). week het briefje in het vloeistofmengsel. Gebruik een pincet, wasknijper, of een geïmproviseerde pincet (twee potlooden met het geld ertussen) om het briefje vast te houden en steek het vervolgens aan met een lucifer. Ondanks de vlam zal het geld niet branden. De alcohol brandt, terwijl het water de temperatuur van het papier lager houdt dan °C tot al het water is verdampd. De 100 ° C is veel minder dan de ontbrandingstemperatuur van papier, die typisch meer dan 200 °C is. In een 50-50 mengsel van alcohol en water zal de ontbrandingstemperatuur niet bereikt worden. Dit experiment wordt veel spannender als het als een toneelstukje wordt opgevoerd, geld lenen van een leerling kan het leuker maken. Een klein beetje zout verandert de kleur van de vlam van blauw naar oranje doordat daar sodium in zit.

10. Geowetenschappen

Rollenspelen werken goed in het inzichtelijk maken van de onderlinge beweging van aarde, maan, zon, en sterren (**Berg, 2000**). Je kunt ze klassikaal doen, dan denk je als docent dat alles glashelder wordt. Je kunt ook een klassikale demonstratie voortzetten met enkele deelopdrachten in kleine groepjes en dan zal blijken dat toch nog niet alles begrepen was. Dus enkele voorbeelden klassikaal voordoen, en dan deelopdrachten laten doen in groepjes. Dit laatste heeft ruimte nodig, bijvoorbeeld op de gang of op het schoolplein, of een extra groot lokaal. Heeft dit nog voordelen in een tijd van computersimulaties? Jazeker, het heen-en-weer denken tussen verschillende representaties helpt bij begripsvorming en elke representatie heeft zijn eigen sterke en zwakke punten en spreekt een deel van de leerlingen populatie aan.

10.1 Baan en rotatie van de aarde visualiseren

De tafel of de docent wordt de Zon, een leerling is de Aarde. Al roterend loopt de leerling in een baan om de docent. Laat de leerling niet 365x roteren.....

10.2 Rotatie van de zon visualiseren

Terwijl de aarde om de zon gaat, roteert de docent (zon) ook een beetje, zeg 12x per jaar of zoiets. We weten dit van de “beweging” van zonnevlekken. Bij een gasbol als de zon is de rotatie aan de evenaar langzamer dan aan de polen.

10.3 Beweging van de maan visualiseren

Nu kun je een leerling toevoegen (Maan), die tijdens de omloop om de Zon rond de Aarde blijft gaan. Terwijl een leerling (Aarde) om de docent (Zon) heen loopt, gaat de andere leerling (Maan) om de Aarde heen, zo'n 13 keer.

10.4 Rotatie van de maan visualiseren

De docent fungeert als Aarde. Een leerling (Maan) beweegt er omheen, altijd met het gezicht (zelfde kant van de maan) naar Aarde gericht. Tijdens 1 rondgang om de aarde draait de maan dus 1x om z'n as. Je moet dit zien om te snappen wat dat betekent. **Laat leerlingen kijken naar een zin in het leerboek over maanrotatie en dit dan vertalen in een bewegingsvoorschrift voor het rollenspel.** Wat moet de maan doen?

10.5 Parallax als afstandmeting

Zelfde opstelling als bij de baan van aarde rond de zon. Kies een leerling op de voorste rij als nabije ster. Kies een leerling op de achterste rij als een verre ster. Kies nu twee posities van aarde 6 maanden van elkaar en vergelijk de hoek tussen de richtingen waarin je de ster van de twee posities ziet. Hoe verder weg de ster, hoe kleiner de hoek (zie figuur 37). Een waslijn of ander stuk touw helpt om de hoeken zichtbaar te maken.

10.6 Schijnbare beweging van sterren in de loop van het jaar

Weer delfde opstelling. Terwijl de aarde haar baan om de zon aflegt, varieert het zicht op de verre sterrenhemel een beetje. Dichtbij sterren lijken ietsje te bewegen tegen de achtergrond van verre sterren.

10.7 Komeet

De zon is een lamp op tafel of een persoon in het midden van de klas. Er komt een komeet aan uit een willekeurige richting. Wat gebeurt er met de snelheid en richting van de komeet in de buurt van de zon? Laat andere leerlingen instructies geven aan de komeet hoe die moet versnellen/vertragen en/of van richting veranderen (**Frederik et al, 2015**).

10.8 Tectonische platen visualiseren; botsing tussen twee dunne oceaانplaten

De platen zijn dun, dus de ene plaat schuift makkelijk onder de andere plaat. Gebruik twee dunne boeken en laat die langzaam botsen met de ruggen tegen elkaar, een van de boeken schuift makkelijk onder de ander. De wrijving van echt tectonische platen wekt hitte op wat zorgt voor vulkanische eilanden.

10.9 Tectonische platen visualiseren; botsing tussen een dunne oceaانplaat en een dikke continentale plaat

Neem een dun en een dik boek en laat de ruggen langzaam botsen. Oceaانplaten hebben een hogere dichtheid, dus stel voor dat het dunne boek een hogere dichtheid heeft. Het dunne boek schuift onder het dikke boek. De wrijving van de echte platen wekt veel hitte op. Dit is de oorzaak van het vulcanisme van het Andesgebergte in Zuid-Amerika, het Cascadesgebergte in Noord-Amerika en de vulkanen langs de randen van Sumatra en Java in Indonesië.

10.10 Tectonische platen met eilanden visualiseren; aanslibbing

Neem nu het dunne boek (oceaanplaat) met iets erop (een suikerklontje of iets dergelijks). Het dikke boek met hogere dichtheid schuift onder het dikke boek met lagere dichtheid (continentale plaat), maar het suikerklontje (net als een eiland) slibt aan bij de kust van de continentale plaat. Zulke aangeslibde voormalige eilanden heeft hele andere steensoorten dan het continent zelf.

10.11 Tectonische platen visualiseren; botsing tussen twee dikke continentale platen

Neem twee dikke boeken, laat ze tegen elkaar aan schuiven maar nu met de open kant naar elkaar toe. De pagina's zullen gaan buigen, net als de Alpen en het Himalayagebergte toen ze werden gevormd door twee continenten die tegen elkaar aan het duwen waren.

11. Modern Physics

11.1 Flames and colors

Try a candle, what colors do you see? Try some alcohol, since the pandemic quite abundant. What color is the flame? Now add some salt to the alcohol. What color do you see now (more orange and better visible, sodium!). All elements have their own spectral lines, Sodium has the famous yellow/orang lines. Some other salts available? Just Google on “flame colors” to get many examples.

MODERN PHYSICS VISUALIZATIONS

Physicists like the surprise element in modern physics experiments, but to experience the surprise, one has to have expectations based on prior knowledge of traditional physics. Many students do not have that and take the outcomes of the experiment for granted without surprise or interest. Therefore, the teacher has to prepare the students carefully for the experiment. Following are some visualizations which might help.

11.2 Particle-wave duality

Before presenting particle-wave duality, the teacher should contrast the classical differences between particles and waves. Take a glass of water or –if available- a basin. Make a wave. Where is the wave in the basin? Everywhere! The teacher talks, where is the sound? Everywhere! We cannot localize a wave, it is everywhere. Now take a piece of chalk or a pen or pencil, or a coin. Where is it? There are sharp boundaries for any object, objects are localized. This is the essential difference between waves and matter/particles. Then proceed to duality. Hopefully you have a beamer with PhET simulations or www.falstad.com.

11.3 Double slit, role play of how it is NOT

Imagine the situation of shooting microscopic bullets through a double slit. That can be simulated in a roleplay. Make two narrow slits by arranging tables and use the wall of the classroom as screen. Send students through the slits, they are only allowed straight lines and so they end up in two clumps on the screen. They form an image of the slit. If you send them one by one, this image builds up gradually. That is what you expect with particles. However, if the bullets were electrons, or protons, or even bigger molecules like C₆₀ (buckeyball), then it is NOT like that. While the electron or proton or C₆₀ is on its way, we do not know where it is. We do not even know through which slit it goes. The particle might be everywhere during its travel, but it does end up at a particular spot on the screen and that spot might not be in a straight line behind the slit. Eventually all these spots together form an interference pattern typical for waves. Electrons, protons and molecules *propagate* like waves but are *absorbed* and *emitted* like particles. Also show some simulations. There are many versions of the double slit experiment, for example with detectors at the slit(s), or even so called delayed choice experiments. Ananthaswamy (2018) wrote a captivating and very readable book about this famous class of experiments.

11.4 Mass numbers of the elements

The fact that mass numbers of elements are not integers is difficult to understand. The non-integer mass numbers are a result of averaging masses of isotopes and mass deficits due to bonding. Get some students up front, for example, 4 single students (4 protons) and one pair (a deuterium nucleus consisting of a proton and a neutron). If indeed one out of 5 Hydrogen atoms would be Deuterium, then the mass number would be about 1.2. However, the mass number is about 1.008 showing that less than 1 in 100 Hydrogen

atoms is Deuterium and the rest single protons. Atomic mass is an average of the masses of many atoms of a single element including the naturally occurring isotopes.

11.5 Rutherford experiment

Rutherford scattering is difficult to visualize for students. Let one student in the classroom (=the atom) hold up a bag...the Gold nucleus. Then the instructor (or a student) takes some small pieces of chalk and is blindfolded (or closes the eyes). From random positions in front of the class the instructor throws electrons in the general direction of the back of the class. The chances that the chalk hits the bag are relatively small. The smaller the bag, the smaller the number of hits. So the number of chalks being bounced back says something about the size of the bag. In Rutherford's experiment, very few electrons are bounced back meaning that the nucleus only occupies a very small part of the atom. Actually, Rutherford had expected a large and soft nucleus so all electrons would get kind of stuck inside and none would bounce back. So he commented "as if you shoot bullets at a piece of paper and some bounce back!"

11.6 Big bang and Hubble 1

Govert Schilling (2017, p167) compares the cosmos with a raisin cake. The raisins form the corners of a system of cubes in which each cube is 1 x 1 x 1 cm. When the dough rises so that after one hour the distance between neighboring raisins is 2 cm, then each cube is 2 x 2 x 2 cm. Suppose you sit on a raisin, then you see the nearest raisin move away from you with a speed of 1 cm/hour. However, the next raising is now at 4 cm instead of the initial 2 cm, so that one moved 2 cm/hour. This could also be done in a roleplay, positioning students in a matrix.

11.7 Big bang and Hubble 2

A very easy way to show this multiplication of distances is to line up 4 students at 1 meter distance from each other. Then the distance from number 1 to number 2 doubles to two meters. Let students compute what the distances between 2 and 3 and 3 and 4 should become. Numbers 3 and 4 also have to move along with that and do this one meter step. But number 3 also has to take the extra step which #4 has to follow. And then #4 has to take the extra step yet. So now the distances between 1, 2, 3, 4 are 2m, 4m, and 8m. It is very instructive to see this.

11.8 Big bang and Hubble 3

Often cosmic expansion is shown with a balloon. Blow a balloon a little bit and mark some points. Then blow it up more and the points will get farther away from each other. We should really look only at what happens at the surface of the balloon and not at three dimensions. The pitfall is that students will see this 3-dimensionally as expansion from one particular point.

11.9 Hidden dimensions in string theory

Some theories of space-time such as in string theories propose more than 3 (space) or 4 (space-time) dimensions. In one of his videos Sean Carroll uses a visualization to show how one could not see a dimension. A sheet of A4 has 2 dimensions, length and breadth. When rolled up tight the two dimensions are still there, but one is invisible.

And there are many more possibilities of experiments with no equipment. Google on freihandversuche for German literature (use Google translate) or look in (Minnaert, 1954) or see the 400+ demonstrations in (Liem, 1987) many of which can be performed without

specialized equipment. Freihandversuche only require very simple equipment, but it might be just a bit more than what you typically have in your pocket.

References

- al., P. N. et. (2010). *Physics on Stage 2 & 3 Demonstrations and Teaching Ideas Selected by the Irish Teams*. Dublin City University.
- Berg, E. van den. (2021). Workshop demonstrations with almost nothing: Thirty examples with a glass of water. *IOP Journal of Physics Conference Series*, 1929, 12068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012068>
- Berg, E. V. den, & Sandura, L. (1990). Student ideas on the velocity of light. *Australian Science Teachers Journal*, 36(2), 72–75.
- Berg, E. van den, Lunetta, V., & Berg, R. van den. (1997). Learning and teaching about energy, power, current, and voltage. *School Science Review*, 759–765.
- Hammack, W. S., & DeCoste, D. J. (2016). *Michael Faradays The Chemical History of a Candle. With Guides to Lectures, Teaching Guides, & Student Activities*. Articulate Noise Books. <https://engineerguy.com/faraday/pdf/faraday-chemical-history-complete.pdf>
- Hewitt, P. (2015). *Conceptual Physics* (12th ed.). Addison-Wesley.
- Liem, T. K. (1987). *Invitations to Science Inquiry*. Science Inquiry Enterprises.
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S., & Rosenquist, R. L. (1996). *Physics by Inquiry Volume II*. Wiley.
- Minnaert, M. (1954). *The Nature of Light & Color in the Open Air*. Dover Publications.
- Minnaert, M. (1993). *Light and Color in the Outdoors*. Springer.
- Pols, C., & Dekkers, P. (2024). *Show the Physics*. TU Delft OPEN Publishing. <https://doi.org/10.59490/tb.101>
- Rogers, E. M. (2011). *Physics for the inquiring mind. the methods, nature, and philosophy of physical science*. Princeton University Press.
- Sefton, I. (2002,). *Understanding electricity and circuits, what textbooks do not tell you*. <http://science.uniserve.edu.au/school/curric/stage6/phys/stw2002/sefton.pdf>
- Weltner, K. (1990a). Aerodynamic lifting force. *The Physics Teacher*, 28(2), 78–82.
- Weltner, K. (1990b). Bernoullis law and aerodynamic lifting force. *The Physics Teacher*, 28(2), 84–86.
- Wojewoda, G. (2017,).