PROEFPRIKKELS 3

Periodieke uitgave van STEVIN natuurkunde

www.stevin.info stevin@stevin.info oktober 2018

Laplace en het ziekenhuis

Je linkerlong is kleiner dan je rechter – je hart neemt ook plaats in. Zijn die twee dan niet vergelijkbaar met de ballonnen uit Proefprikkels 1 waarbij de kleinste leegloopt in de grootste? Wat heeft Laplace te maken met een aneurysma? En hoe moet je een zeer been inwikkelen? Geldt de wet ook voor het oog? En de blaas? *Extra stof* voor het VWO SE-katern: Oog, oor en hart.

■ Louis Mathot

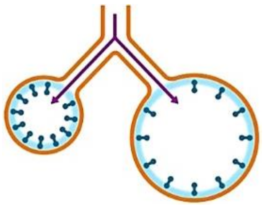
De wet van Laplace: $p \sim \sigma/r$ lijkt niet goed toepasbaar voor het oog, voor de blaas daarentegen wel. De eerste aandrang tot lediging ontstaat bij een blaasvolume van 150 mL, maar dat is gemakkelijk te onderdrukken. Pas bij een volume van 400 mL wordt de situatie urgent. De druk p blijft namelijk ongeveer constant, zo'n 10 cm water, tussen die twee stadia. De wandspanning σ neemt weliswaar toe, maar de grotere diameter van de blaas compenseert dat.

Longen

Bij je geboorte werd je op je kop gehouden en zette je het op een blèren. Dat hielp om het water in je longen te vervangen door lucht. Met de longen zelf ging het blijkbaar goed. Maar hoe bleven de longblaasjes open? Die zijn immers niet allemaal even groot, zeker niet in het begin.

Volgens Laplace, zie Proefprikkels 2, geldt voor een bolvormige membraan bij benadering:
$p - b = 2\sigma/r$ met σ de oppervlaktespanning (de 'hyperbool' in de grafiek tussen 2 r/R en 5 r/R).

De kleinste lopen dus de kans in te klappen.

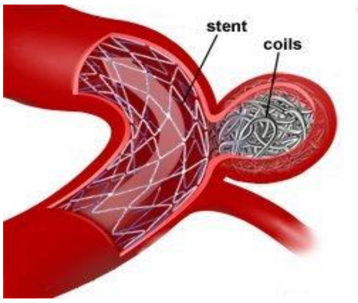


In de laatste drie maanden voor je geboorte maakte je een 'surfactant' aan, de 'haltertjes' in de figuur boven, een soort zeep in het vloeistoflaagje aan de binnenkant van de blaasjes. De moleculen daarvan kropen tussen de watermoleculen en verminderden de cohesie. Doordat de concentratie in de kleinere blaasjes hoger is - het oppervlak is kleiner - werd σ verkleind met een factor 7 en dat compenseerde de kleinere straal r. Dit effect kan overigens niet de enige verklaring zijn, want de blaasjes zijn bijvoorbeeld niet bolvormig maar liggen in een soort honingraat tegen elkaar.

Aneurysma

In een slagader met een zwakke plek heerst volgens Pascal overal gemiddeld dezelfde druk. Als de diameter van die uitstulping te groot wordt (meer dan ongeveer 5 cm), moet worden ingegrepen want anders is de druk p is niet meer op te brengen door de wand. Waarom?
Schrijf de wet van Laplace als $p = \sigma\, d/r$ voor een cilinder of als $p = 2\sigma\, d/r$ voor een bol.
De wandspanning is σ en d is de dikte van de wand.
Hoe groter de straal van de bobbel, hoe groter de wandspanning σ moet zijn om de druk in de ader constant te houden. Maar ook de dikte d zal zijn afgenomen. Beide effecten verhogen de benodigde wandspanning. Bovendien stroomt het bloed bij de uitstulping minder snel en dus neemt de druk volgens Bernoulli nog meer toe.

Vandaar dat er ‘geen houden meer aan’ is als de diameter groeit. Om dat te voorkomen wordt de bobbel opgevuld, afgesloten en de ader voorzien van een stent.



Windselen

Een zwachtel met breedte b om een been (cilinder) moet bij de hiel minder strak worden gewikkeld dan vlak onder de knie. De toegebrachte druk is volgens Laplace immers omgekeerd evenredig met de straal: $p = \frac{\sigma}{r}$.

Met F in kgf, omtrek en b in cm en p in mm Hg wordt deze praktijkformule gebruikt:

$$p = \frac{\Sigma F}{A} = \frac{F \cdot n}{2\pi r \cdot b} \cdot 4620$$

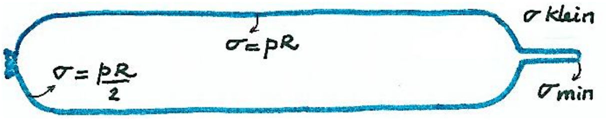
n is het aantal wikkelingen.

Voorbeeld:
F = 2 kgf; n = 3; b = 10 cm Hg ; $2\pi r$ = 31 cm levert p = 90 mm Hg.

Bedenk: een overlap van 50% geeft plaatselijk $2p$; 66% geeft plaatselijk $3p$!

Experimenten

De wet van Laplace is te voelen! Blaas een lange ballon gedeeltelijk op. De druk is overal dezelfde, maar de wandspanning niet.



Voel het verschil in wandspanning bij een opgeblazen handschoen: de vingers voelen slap aan en dat terwijl de druk overal dezelfde is. Meet p met een druksensor en meet r. Bereken σ ter plekke.

Beschik je over vloeibare stikstof dan kun je deze proef doen: doop een lange dunne ballon in de stikstof, dan krimpt het ondergedompelde deel, maar het bovenste deel houdt zijn vorm ten teken dat de druk niet is veranderd.

Laat je leerlingen meedoen met Prijsvraag 28 op www.stevin.info/prijsvragen

Auto in de berm

In Stevin staat in H3 Vectoren een interessant probleem waarbij met menskracht een gestrande auto uit de zachte berm wordt getrokken. Meer dan een lang touw en een stevige boom in de buurt is niet nodig. Op school doen we de proef na op het digibord met coach en twee krachtsensoren.

■ **Ruud Brouwer**

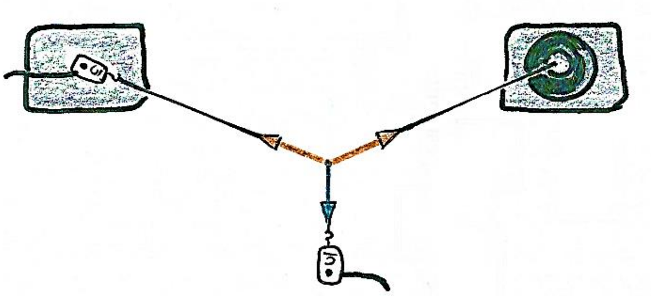
Nodig: twee krachtsensoren, *Coach* 7, touw, zware massa's om twee statieven te verzwaren en de geodriehoek van het bord.

Doel: aantonen dat $F_s \gg F_{dwars}$.

Theorie:

Stevin *havo* H3 p. 59 opgave 19
vwo H3 p. 64 opgave 17

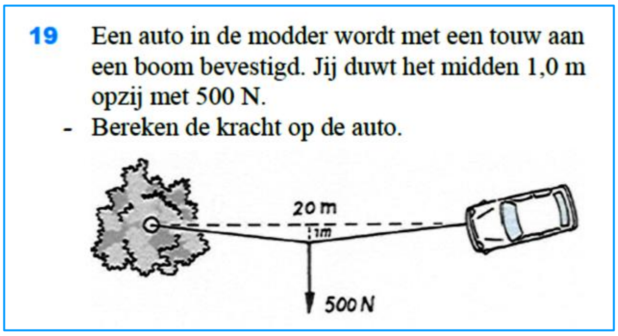
Opstelling:
Span een touw van ongeveer een meter lang tussen een krachtsensor aan een verzwaard statief en een muur (of een tweede zwaar blok).



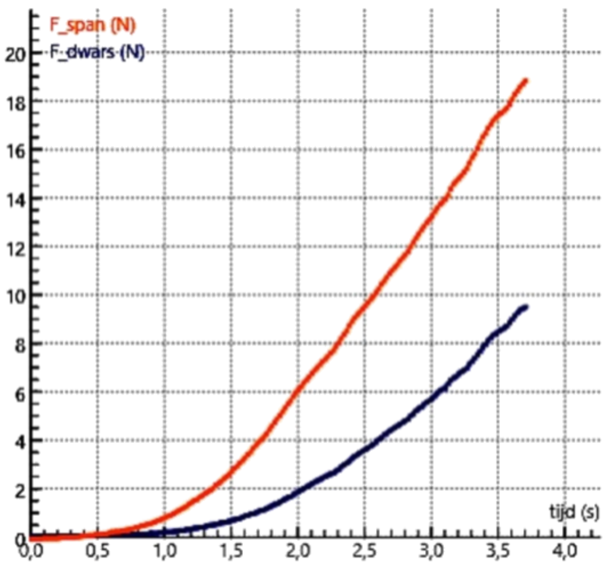
In het midden meet je met een tweede krachtsensor de trekkracht F_{dwars} en aan het uiteinde van het touw de spankracht F_s. Gebruik de bordgeodriehoek om de hoek 2α tussen de touwen te kunnen meten.

Demonstratie:
Stel de meting in *Coach* zo in dat je F_{dwars} en F_s als functie van de tijd meet. Start de meting en maak F_{dwars} langzaam groter. Op het digibord kan de hele klas zien dat de **oranje** spankracht F_{span} groter is dan de **blauwe** F_{dwars}.

Laat leerlingen dat verklaren met een eigen gemaakte vectortekening waarin de trekkracht en de twee spankrachten evenwicht maken. Dit is trouwens voor leerlingen geen sinecure.
De opdrachten van het tekenpracticum n.a.v. de meting op het digibord kan hen daarbij helpen.


19 Een auto in de modder wordt met een touw aan een boom bevestigd. Jij duwt het midden 1,0 m opzij met 500 N.
- Bereken de kracht op de auto.

Tekenpracticum



Op $t = 2{,}5$ s is de hoek tussen de touwen $2\alpha = 158°$ en $F_{dwars} = 3{,}8$ N.

***a*¹** Bepaal F_s door middel van een constructie.

***a*²** Komt je gevonden waarde overeen met de meting?

Op $t = 2{,}0$ s is $F_s = 3 \cdot F_{dwars}$.

***b*¹** Hoe groot was 2α op dat moment? Licht je antwoord met een tekening toe.

***b*²** Controleer in de demonstratieopstelling voor in de klas je uitkomst met de bordgeodriehoek.

c Voorspel de vorm van de grafiek als je F_s verticaal uitzet tegen F_{dwars}.

Hijsen met een V-vorm

Een tennisnet hangt in het midden lager dan aan de zijkanten. De spanning F_s in een waslijn hangt af van de hoek 2α van de V die de weerskanten met elkaar maken. Hoe zit dat?

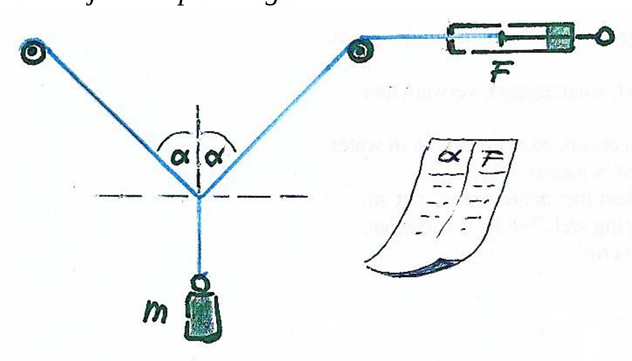
■ Louis Mathot

Nodig: draad, katrol, gewicht van 100 g en 200 g, krachtmeters met verschillend bereik, verticale lijn op achtergrond.

Doel: wat is het verband tussen F_s en α?

Theorie:
Stevin *havo* en *vwo* H3

Werkwijze en opstelling:



Hijs een massa *m* op met deze opstelling. Je zult steeds zwaardere krachtmeters nodig hebben.

a Leid het theoretisch verband af tussen *F* en *α* in deze opstelling.

b Meet *F* als functie van *α* en teken de grafiek. Zorg dat de massa steeds in het midden hangt door bijvoorbeeld een verticale lijn op achtergrondpapier te zetten.

c Doe dezelfde proef met een zwaardere massa en teken ook die in de grafiek.

d Was het probleem bij $\alpha = 90^0$ te voorspellen?

Blaaskracht

Nodig: lichtsensor, *Coach* 7, statief en klemmen, lange PVC buis, een passende viltstift.

Doel: bepalen van de blaaskracht.

Theorie:
Stevin *havo* en *vwo* H2

Werkwijze en opstelling:
Plaats aan het begin via een klein gaatje in de buis, vlak achter de stift, een *CMA* lichtsensor (model 0142i met de glasvezel).
Plaats aan het uiteinde een tweede lichtsensor die wordt beschenen door een lamp. Sluit de sensoren op *Coach* aan en stel de tijdmeting zo in dat de meting wordt getriggerd door de eerste lichtsensor.

De tweede lichtsensor meet een licht/donker grafiek waarmee je de passeertijd Δt van de stift kan bepalen.

Opdrachten:

a Meet ℓ en de lengte van de stift, Δx.

Plaats de stift aan het begin van de buis en lanceer de stift door krachtig te blazen.

b Bepaal de tijd *t* die de stift over ℓ doet en bepaal de passeertijd Δt van de stift.

c¹ Bepaal met $v = \Delta x / \Delta t$ de snelheid waarmee de stift de buis verlaat.

c² Bepaal met $\ell = v_{gem} \cdot t$ en $v_{gem} = \frac{0+v}{2}$ de snelheid *v* waarmee de stift de buis verlaat.

c³ Was de versnelling *a* tijdens de lancering constant? Licht je antwoord met behulp van vraag ***c¹*** en ***c²*** toe.

d Bepaal m_{stift} en bereken de kracht waarmee er is geblazen.