

OuNa 4 Ballonnen

NVOX, 37, nr. 8, oktober 2012-10-21

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

Deze OuNa gaat over ballonnen. Vergeet vooral niet (hoe afgezaagd het ook lijkt) om op verjaardagen en andere feesten een gewreven ballon aan de muur of plafond te plakken, want voor kinderen blijft dit nieuw.

Behalve de elektrostatica-demo's kun je in klas 2 t/m 6 VWO met een ballon gevarieerd en nuttig practicum doen. Heeft u wel eens een pas opgeblazen ballon op een gevoelige weegschaal gelegd? Eigenlijk moet u dat eerst doen voordat u verder leest. Wat zie je gebeuren?

Heeft lucht massa?

Ooit stelde ik in de 2^e klas deze vraag: hoe kun je met een houtje en een touwtje aantonen dat lucht massa heeft? Een groepje kwam de les daarna terug met twee ballonnen, een limonaderietje en drie paperclips. Eerst klemden ze de lege ballonnen met paperclips aan de uiteinden van het rietje en prikten de derde verbogen paperclip ongeveer door het midden van het rietje. Daarna schoven ze een van de ballonnen een beetje opzij totdat het rietje in evenwicht was. Met een zwarte stiften werden de posities van de paperclips gemarkeerd. Vervolgens werd een ballon losgemaakt, opgeblazen en teruggezet op de gemarkeerde plek. Het rietje was nu niet meer in evenwicht. De opgeblazen ballon was duidelijk zwaarder: lucht heeft massa.



Later zag ik de beroemde David Jones een soortgelijke proef doen met twee PET-flessen die hij aan een balans had gehangen. De flessen hingen in evenwicht, maar nadat een van de flessen was opgepompt (leegpompen met de vacuvin kan natuurlijk ook) was de balans verstoord.

Omdat ik het boek van R. Ehrlich¹ gelezen had, stuurde ik ook leerlingen naar het scheikundekabinet. Daar staat een weegschaal die tot op 0,01 gram nauwkeurig is. Eerst de lege ballon erop, aflezen, en daarna de opgeblazen ballon.

Wat bleek: je kunt de massa niet meteen aflezen, want de opgeblazen ballon werd zwaarder en zwaarder; soms tot wel twee keer zoveel. Had u dit verbazende effect ook opgemerkt toen u de proef deed voor u verder las? Van de wet van Gay Lussac en de wet van Archimedes hebben 2^e klassers natuurlijk nog nooit gehoord, maar deze demonstratie is vanaf het moment dat ik de toename van de massa zag meteen gepromoveerd naar het hoofdstuk Gassen in 5 VWO. Vanwege het afkoelen van de warme lucht ($\approx 37^\circ\text{C}$) die in de ballon is geblazen, zal de ballon krimpen. Daardoor neemt ook de opwaartse kracht op de ballon af en zal de weegschaal steeds meer aanwijzen totdat de temperatuur binnen en buiten de ballon gelijk is geworden.

Hoeveel gram lucht zit er in een ballon?

De allersimpelste manier om de massa van de lucht in een ballon af te schatten is natuurlijk tellen hoe vaak je hebt geblazen. Het opblazen van een flinke ballon lukt in ongeveer vier keer. Per keer blaas je minstens 4 liter lucht in de ballon zeggen ze bij biologie. De massa van 1 liter lucht is 1,3 gram, dus in totaal bevat de ballon $4 \cdot 4 \cdot 1,3 = 21$ gram.

Een nauwkeuriger manier om de massa van de lucht in de ballon te bepalen lukt met behulp van de trillingsformule van een massa-veer systeem:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$$

Verzwaar een grote lege ballon met bijvoorbeeld een gewichtje van 200 g en laat die in je hand trillen (resoneren) aan een elastiekje of veer. Ik kwam uit op 130 trillingen in een minuut.

Blaas de ballon op en doe hetzelfde nog een keer: 120 trillingen in een minuut.

De ballon die ik gebruik, weegt 2 g. De massa van de verzwaarde lege ballon is dus: $m_{\text{leeg}} = 202$ g.

De massa van de opgeblazen ballon is:

$$m_{\text{vol}} = 202 \text{ g} + m_{\text{lucht}}$$

Uit de trilformule volgt dat:

$$m_{\text{vol}} = \left(\frac{T_{\text{vol}}}{T_{\text{leeg}}}\right)^2 \cdot m_{\text{leeg}} = \left(\frac{130}{120}\right)^2 \cdot 202 = 237 \text{ g} \Rightarrow$$

$$m_{\text{lucht}} = 237 - 202 = 35 \text{ g.}$$

Meten met een krachtsensor en Coach6



Duidelijk is te zien dat de opgeblazen ballon (blauwe grafiek) een grotere trillingstijd heeft dan de niet opgeblazen ballon (groene grafiek).

Met de optie 'uitlezen' vond ik deze trillingstijden:

Bij de opgeblazen ballon
 $T = 0,495$ s (dus 121 trillingen in een minuut).

Bij de *niet* opgeblazen ballon
 $T = 0,470$ s (dus 128 trillingen in een minuut).

De meting met de hand en met coach komen mooi overeen. Invullen van deze gegevens in de formule hierboven levert voor de massa van de lucht in de ballon 24 gram.



Voor de massa m_{vol} (2,96 g) die wordt gewogen bij de opgeblazen ballon geldt:

$$m_{\text{vol}} = m_{\text{leeg}} + m_{\text{lucht in de ballon}} - m_{\text{verplaatste lucht}}$$

$$\text{Het verschil } \Delta m = m_{\text{vol}} - m_{\text{leeg}} = 2,96 - 2,25 = 0,71 \text{ g} \Rightarrow$$

$$m_{\text{lucht in de ballon}} - m_{\text{verplaatste lucht}} = 0,71 \text{ g}$$

Het volume V van de ballon schat ik af door de ballon te benaderen als een bol en de omtrek met een touwtje te meten: 82 cm.

De diameter van de ballon is dan $\frac{82}{\pi} = 26$ cm en het

volume van de ballon is:

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot (0,13)^3 = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Het verschil in dichtheid $\Delta \rho$ van de lucht binnen en buiten de ballon is:

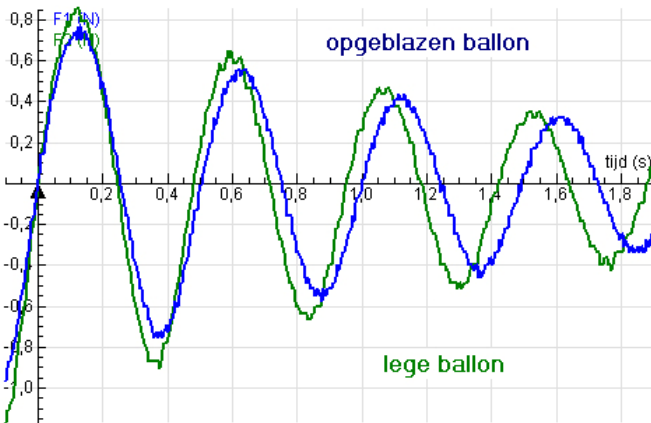
$$\Delta \rho = \frac{\Delta m}{V} = \frac{0,71 \cdot 10^{-3}}{9,3 \cdot 10^{-3}} = 0,076 \text{ kg/m}^3$$

De ballon is afgekoeld nadat deze is opgeblazen, dus we kunnen aannemen dat de temperatuur binnen en buiten de ballon gelijk is. Volgens de algemene gaswet is dan de druk p evenredig is met de dichtheid ρ . Dan geldt:

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{0,076}{1,3} = 0,059$$

Dit betekent dat de druk in de ballon 'slechts' 5,9% hoger is dan buiten de ballon.

1. R. Ehrlich, *Why toast lands jelly side down*



Met een weegschaal de druk in een ballon bepalen

Als je een lege en volle ballon op een weegschaal legt, krijg je deze resultaten:

