Druk om je hoofd

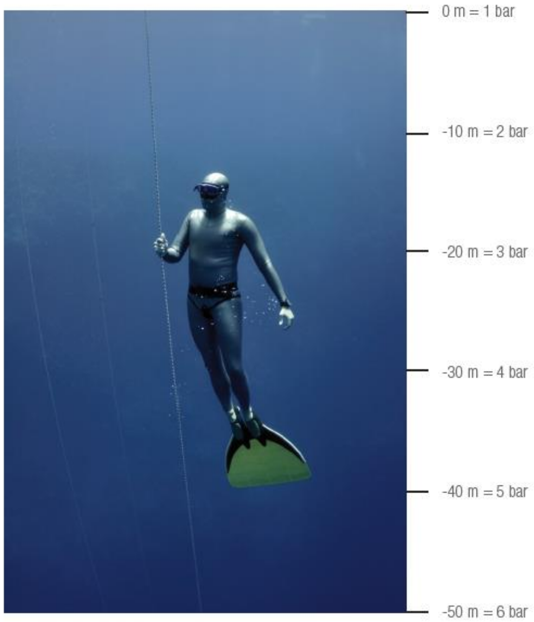
Druk- en gaswetten

Overzicht van de opdracht

Probleemstelling	Welke druk ervaart een duiker onderwater?
Methode	Vraagstukken
Doelstellingen	2^{e} graad Fysica, natuurwetenschappen

Principe en theorie

Wat doe je als de druk op je trommelvlies afneemt wanneer je opstijgt met een vliegtuig? Inderdaad, je slikt of geeuwt eens om die vervelende drukwijziging op je trommelvlies weg te nemen. Druk is een kracht per oppervlakte die wordt uitgeoefend door de bovenliggende lagen. Onze atmosfeer bestaat uit 80 km luchtlagen die onder invloed staan van de zwaartekracht. Hoe hoger in de lucht, hoe kleiner de atmosferische druk – denk maar aan de ijle lucht in de bergen.



Figuur 1

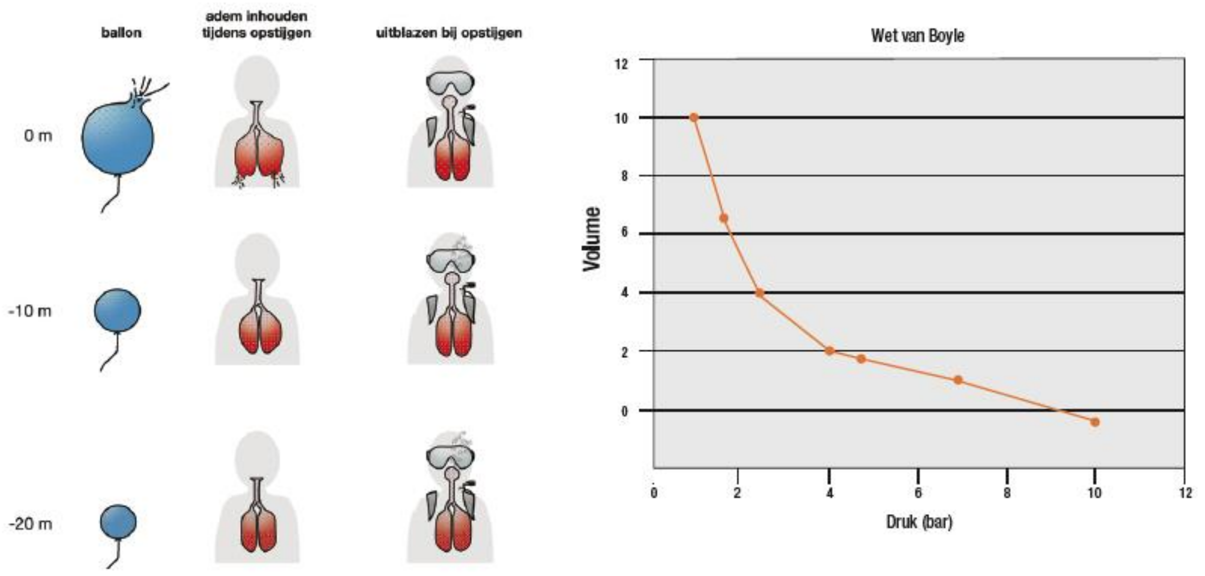
Niet alleen in de atmosfeer is er druk, maar ook in de oceaan. Wanneer een duiker onder water gaat, ervaart hij zowel de atmosferische druk als de druk van de bovenliggende waterlagen, de hydrostatische druk. Een vuistregel zegt dat de druk met 1 bar toeneemt bij elke daling van 10 m.

De hydrostatische druk is rechtevenredig met drie factoren:

1) De massadichtheid van het water. Deze bedraagt van zeewater ongeveer 1030 kg/m^3.
2) De grootte van de zwaarteveldsterkte. Deze varieert naargelang de vorm en de samenstelling van de zeebodem, maar kunnen we ter vereenvoudiging constant houden op 9,81 N/kg.
3) De diepte. De hydrostatische druk varieert vooral met de diepte waarop iets zich bevindt. De omgeving (in een grot, in een rivier, in de zee, …) is voor een duiker van geen enkel belang. Druk plant zich immers in alle richtingen evenveel voort zoals de Wet van Pascal zegt.

Waarom worden we dan niet platgedrukt als we dieper in zee zwemmen? Dit komt doordat een menselijk lichaam voor ca. 65% uit water bestaat en water is nu eenmaal moeilijk samendrukbaar. De luchtholtes in ons lichaam echter zijn wel gemakkelijk samendrukbaar omdat er bij gassen meer ruimte is tussen de moleculen dan bij vloeistoffen, waar de cohesiekrachten sterker zijn.

Opdat onze longen, mond-, keel-, neus- en oorholtes niet zouden samengedrukt worden, moeten ze de druk van het omliggende water aannemen. Als een duiker afdaalt, zal de druk toenemen en zullen de longen samengedrukt worden. Bij het stijgen gebeurt net het omgekeerde: de druk neemt af en de longen zetten weer uit. Een duiker mag dus nooit zijn adem inhouden als hij naar boven zwemt, want anders zouden zijn longen onherroepelijk beschadigd worden.



Figuur 2: De Wet van Boyle-Mariotte: de druk van een gas is omgekeerd evenredig aan het volume.

Eerder uitgevoerd experiment

Helaas kan niet iedereen mee aan boord van een onderzoeksschip om proeven uit te voeren op zee. Daarom nemen we jullie hier even mee in ons verhaal. We trachten het effect van de toenemende druk op een volume waarin veel lucht zit, experimenteel aan te tonen, door een piepschuim hoofd van een paspop naar de zeebodem te sturen en te kijken hoeveel het volume afgenomen is.

Aan boord van het schip de Zeeleeuw namen we 2 piepschuimhoofden mee.
Een ervan bleef aan boord en het andere hoofd nam een duiker mee in een duiktas naar zo'n 20 meter diepte.

We stelden vast dat het piepschuimhoofd dat in de duiktas zat, onder invloed van de hydrostatische druk gekrompen is. De luchtholtes in het piepschuim werden samengedrukt. Dit bewijst nog maar eens dat lucht gemakkelijk samendrukbaar is.

Berekeningen in klas

Bepaling van druk en kracht op piepschuimhoofd:

Enkele waarden die je nodig hebt voor de berekeningen:

Stel diepte h = 20 m

Massadichtheid van zeewater ρ = 1030 kg/m³

1013 hPa = 1 Atm = 1 bar = 1 kg/cm²

Om de absolute druk p te berekenen, heb je volgende formule nodig:

Absolute druk = hydrostatische druk + atmosferische druk

$p = p + p_0$ met $p = \rho.g.h$ p_0 = 1013 hPa

Als we de waardes in de formule invullen, krijgen we:

p $= \rho.g.h$

= 1030 kg/m³. 9,81 N/kg. 20 m

= 202 086 Pa

= 2020,86 hPa

= 2020,86 mbar

= 2,02086 bar

p $= p + p_0$

= 2,02086 bar + 1,013 bar

= 3, 03386 bar

Vervolgens berekenen we aan de hand van volgende formule de kracht die wordt uitgeoefend op het piepschuimhoofd:

Absolute druk = kracht / oppervlakte

$p = F / A$ ⇔ $F = p.A$

Als we de waardes in de formule invullen, krijgen we:

F $= p.A$

= 3,03386 bar.A

(De oppervlakte A kan bij benadering geschat worden door het hoofd te abstraheren tot de som van een bol en een cilinder (hoofd + nek))

Bepaling volumeverschil tussen twee piepschuimhoofden:
Onze twee piepschuimhoofden zijn geen mooie bollen of ellipsen. Dit maakt het moeilijk om beide volumes te berekenen. Daarom zullen we een extra proef integreren in ons experiment. Aan de hand van de Wet van Archimedes kunnen we een volume berekenen door een voorwerp in water onder te dompelen.

We namen een rechthoekige plastieken bak en vulden die voor drievierden met kraantjeswater. We maten de lengte en breedte van de bak, alsook de waterhoogte.
Lengte: 0,403 m
Breedte: 0,323 m
Waterhoogte: 0,111 m
Vervolgens namen we het grootste hoofd. We dompelden het hoofd voorzichtig onder water en hielden het met zo weinig mogelijk vingers vast. Iemand bepaalde vervolgens de waterhoogte.
$\text{Waterhoogte}_{\text{grootste hoofd}}$: 0,141 m
We herhaalden deze stap met het kleinste hoofd.
$\text{Waterhoogte}_{\text{kleinste hoofd}}$: 0,136 m
Dit levert ons alle gegevens op om het volume van beide hoofden te berekenen.

Om het volume van een balk te berekenen, gebruik je volgende formule: $V = l.b.h$

Je berekent eerst het volume van de bak gevuld met water. Hier wordt dit:

$$V_1 = l.b.h$$
$$= 0{,}403 \text{ m} \times 0{,}323 \text{ m} \times 0{,}111 \text{ m}$$
$$= 0{,}01444876 \text{ m}^3$$

Dan bereken je het volume van het water wanneer je het grootste hoofd onderdompelt; dit wordt:

$$V_2 = l.b.h$$
$$= 0{,}403 \text{ m} \times 0{,}323 \text{ m} \times 0{,}141 \text{ m}$$
$$= 0{,}01835383 \text{ m}^3$$

Als laatste bereken je het volume van het water wanneer je het kleinste hoofd onderdompelt, dit wordt dan:

$$V_3 = l.b.h$$
$$= 0{,}403 \text{ m} \times 0{,}323 \text{ m} \times 0{,}136 \text{ m}$$
$$= 0{,}01770298 \text{ m}^3$$

Aan de hand van deze berekeningen kunnen we nu het volume van beide piepschuimhoofden berekenen, alsook het volumeverschil.

Om het volume van het grote hoofd te berekenen, maak je het verschil tussen V_2 en V_1:

$V_2 - V_1$ = 0,01835383 m³ - 0,01444876 m³
= 0,00390507 m³
= 3905,07 cm³

Om het volume van het kleine hoofd te berekenen, maak je het verschil tussen V_3 en V_1:

$V_3 - V_1$ = 0,01770298 m³ - 0,01444876 m³
= 0,00325422 m³
= 3254,22 cm³

Ten slotte berekenen we het volumeverschil tussen beide hoofden:

ΔV = 3905,07 cm³ - 3254,22 cm³
= 650,85 cm³

De inkrimping bedraagt 16,7 %.

Conclusie

Op 20 m diepte wordt een piepschuimhoofd 16,7 % ingedrukt onder invloed van de hydrostatische druk.