

FYSICA BIOMEDISCHE WETENSCHAPPEN INHOUD

INHOUDSTAFEL:

| | |
|---|------------|
| DEEL I: BEGRIPPEN UIT DE KLASSIEKE MECHANICA | 1 |
| Hoofdstuk 1. Kinematica | 1 |
| Hoofdstuk 2. Dynamica | 22 |
| Hoofdstuk 3. Arbeid en energie | 32 |
| Hoofdstuk 4. Hoeveelheid van beweging en impuls | 51 |
| Hoofdstuk 5. Dynamica van de rotatiebeweging | 69 |
| | |
| DEEL II: MECHANICA VAN DE FLUIDA | 97 |
| Hoofdstuk 1. Statica van de fluïda | 97 |
| Hoofdstuk 2. Dynamica van de fluïda (hydrodynamica) | 105 |
| Hoofdstuk 3. Oppervlakte- en diffusieverschijnselen | 127 |
| | |
| DEEL III: ELEKTRICITEIT EN MAGNETISME | 138 |
| Hoofdstuk 1. Lading en elektrische potentiaal | 138 |
| Hoofdstuk 2. Elektrische stroomkringen | 168 |
| Hoofdstuk 3. Elektromagnetisme | 191 |
| Hoofdstuk 4. Wisselstromen | 218 |
| | |
| DEEL IV: ELEKTROMAGNETISCHE GOLVEN EN OPTICA | 228 |
| Hoofdstuk 1. Elektromagnetische golven | 228 |
| Hoofdstuk 2. Optica | 236 |
| Hoofdstuk 3. Optica van het oog | 259 |
| Hoofdstuk 4. Microscopie | 267 |

DEEL II : MECHANICA VAN DE FLUIDA

Hoofdstuk 1. Statica van de fluida

1.1. Eigenschappen van fluida

Macroscopisch kan materie zich in vaste, vloeibare of gasvormige aggregatietoestand bevinden.

Vaste stoffen hebben een eigen vorm en volume en bieden weerstand tegen vorm- en volumeveranderingen.

Vloeistoffen hebben geen vaste vorm maar wel een constant volume en verzetten zich tegen volumeveranderingen.

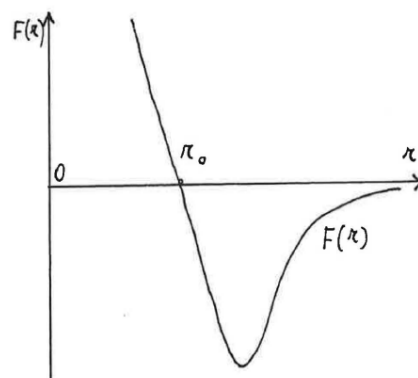
Gassen hebben geen standvastige vorm en geen constant volume en bieden nagenoeg geen weerstand tegen vorm- en volumeveranderingen.

Een fluïdum is een stof die bij een constante temperatuur en constante druk een welbepaalde massa en volume heeft, maar geen vaste vorm (gassen, vloeistoffen, plasma's)

De moleculen van een fluïdum bevinden zich op een geringe afstand van elkaar. De krachten die hiervoor verantwoordelijk zijn, zijn intermoleculaire krachten of **Van der Waals krachten**. Het verloop van de Van der Waals krachten als functie van de intermoleculaire afstand r wordt in de figuur weergegeven.

Voor $r < r_0$ zijn de Van der Waals krachten sterk **afstotende** krachten tussen de moleculen onderling zodat er zeer grote uitwendige krachten nodig zijn voor een geringe samendrukking van het fluïdum.

Voor $r > r_0$ treden sterke attractiekrachten op werkend op een korte afstand (enkele moleculaire diameters): **adhesie- en cohesiekrachten**. Deze krachten zijn eveneens aanwezig tussen het fluïdum en een vaste stof oppervlak.



De moleculen zijn voortdurend in beweging. Ze verplaatsen zich in willekeurige richtingen op onregelmatige wijze (de Brownse beweging). Bij vloeistoffen zijn de verplaatsingen van de orde van enkele molecuuldiameters. Deze ongeordende beweging is verantwoordelijk voor het **diffusieverschijnsel** in een vloeistof. De vrije weglengte voor moleculen in de gasvormige aggregatietoestand is veel groter dan bij vloeistoffen.

Bij vloeistoffen kunnen de moleculen onder invloed van uitwendige krachten heel gemakkelijk over elkaar glijden: niettegenstaande de vloeistofmoleculen zeer dicht op elkaar geperst zijn, bezitten ze aldus toch een grote beweeglijkheid.

1.2. De begrippen dichtheid en druk

De **dichtheid**, ρ , van een homogeen fluïdum is per definitie de massa van dit fluïdum per eenheid van volume.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

De SI eenheid voor dichtheid is **kg/m³**.

Voor vloeistoffen is de dichtheid weinig afhankelijk van de druk en de temperatuur.

Voor water: $\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$ bij 0° C en 1,013 bar.

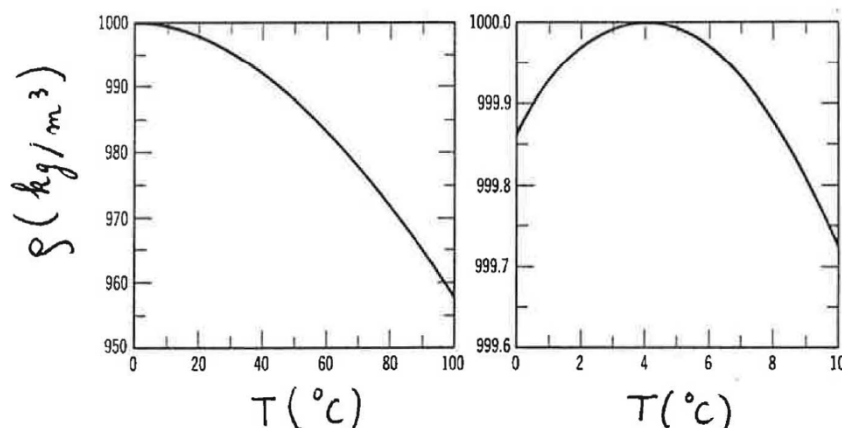
In de onderstaande tabel worden enkele dichtheden van verschillende stoffen opgegeven bij 0° C en 1 atm druk (tenzij anders vermeld).

| STOF | DICHTHEID (kg/m ³) |
|---------------------------|--------------------------------|
| Vloeistoffen | |
| Water (4° C) | 1,000 x 10 ³ |
| Zeewater | 1,024 x 10 ³ |
| Bloed, plasma | 1,030 x 10 ³ |
| Bloed, volbloed | 1.060 x 10 ³ |
| Kwik | 13.60 x 10 ³ |
| Ethylalcohol | 0.79 x 10 ³ |
| Gassen | |
| Lucht | 1.29 |
| Water (100 °C) (stoom) | 0.598 |
| Helium | 0.179 |
| Kooldioxide | 1.98 |

Water gedraagt zich niet als de andere vloeistoffen.

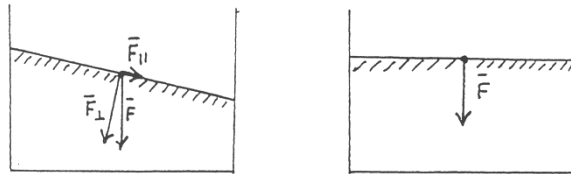
→ Bij temperaturen tussen 4 en 0 °C vertoont water een uitzetting met dalende temperatuur zodat in dit gebied de massadichtheid daalt met dalende temperatuur.

De **dichtheid** van **water** is het **grootst bij 4 °C**: 1000 kg / m³ of 1,000 g / cm³. Bij alle andere temperaturen is de dichtheid kleiner.



Op een **vast lichaam** kan een kracht inwerken in een willekeurig punt in om het even welke richting.

Op een **fluidum** kan een kracht alleen werken of geschaagd worden door een oppervlak: een **oppervlaktekracht**.



Bij een **fluidum in rust** moet de uitwendige kracht steeds loodrecht staan op het oppervlak. Als er immers een krachtcomponent evenwijdig aan het oppervlak aanwezig zou zijn, dan zouden de fluidumlagen glijden met een stroming als gevolg. Dit is in strijd met de aanname dat het fluidum in rust is.

De **oppervlaktekrachten** uitgeoefend op **fluida** worden beschreven met behulp van het begrip **druk**.

Definitie druk: de druk p is de grootte van de normale kracht per eenheid van oppervlakte.

Druk is dus een **scalaire** grootheid terwijl kracht een vectoriële grootheid is!!!

Is de druk dezelfde in alle punten van een oppervlak S , dan geldt:

$$p = \frac{F}{S}$$

Eenheden van druk:

⇒ SI stelsel: $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa}$

⇒ praktische eenheid: de bar $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$

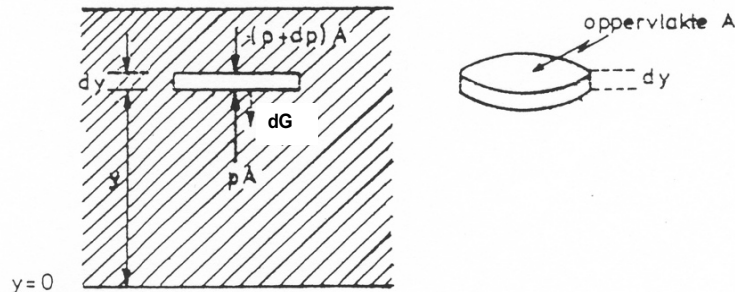
$1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$

⇒ praktische eenheid: de atmosfeer $1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg} = 1,013 \text{ bar}$

1.3. De drukverandering in een fluïdum in rust

In een fluïdum in rust is macroscopisch gezien ieder volume-element in rust.

Beschouw in het fluïdum een schijfvormig volume-element op een hoogte y boven een referentieniveau $y = 0$ m.



De massa van het volume-element bedraagt: $m = \rho A dy$

Het gewicht van het volume-element bedraagt: $dG = (\rho A dy)g$

Het schijfvormig volume-element is in rust zodat de som van alle uitwendige krachten inwerkend op het element nul moet zijn. Hieruit volgt:

$$\bar{F}_1 + \bar{F}_2 + d\bar{G} = m \bar{a} = 0$$

$$-(p+dp)A + pA - (\rho A dy)g = 0$$

$$dp = -\rho g dy$$

$$\frac{dp}{dy} = -\rho g$$

De druk daalt dus bij toenemende hoogte.

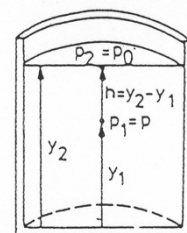
Is p_1 de druk op een hoogte y_1 boven het referentieniveau en p_2 de druk op een hoogte y_2 boven het referentieniveau, dan kan het verschil tussen p_2 en p_1 berekend worden door integratie:

$$p_2 - p_1 = \int_{p_1}^{p_2} dp = -\rho g \int_{y_1}^{y_2} dy = -\rho g (y_2 - y_1)$$

Het drukverschil $p_2 - p_1$ is te wijten aan het gewicht per eenheidsoppervlak van de vloeistofkolom met hoogte $y_2 - y_1$.

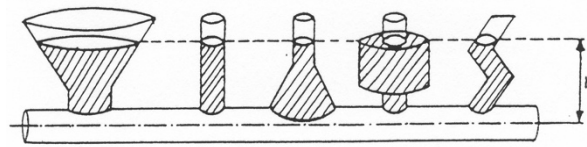
Stellen we nu p_2 gelijk aan p_0 , de druk op het vrije vloeistofoppervlak, en vervangen we p_1 door p met p de druk op een diepte $h = y_2 - y_1$, dan wordt de uitdrukking:

$$p = p_0 + \rho gh$$



Besluit: de druk p op een diepte h onder het vloeistofoppervlak is enkel afhankelijk van h en niet van de vorm van het vat.

→ **Hydrostatische paradox**



1.4. Het beginsel van Pascal en het beginsel van Archimedes

Neem een cilindervormig vat met een beweegbare zuiger die gevuld is met een vloeistof.

- 1) $\bar{F} = 0$: met de zuiger wordt geen kracht uitgeoefend. In een punt P op een diepte h bedraagt de druk

$$p_p = p_0 + \rho gh$$

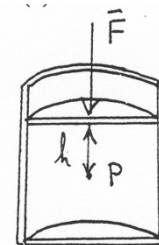
- 2) $\bar{F} \neq 0$: met de zuiger wordt een kracht uitgeoefend.

aan de oppervlakte bedraagt de druk nu

$$p_0 + \Delta p_0$$

in het punt P op diepte h bedraagt de druk nu

$$p_p + \Delta p_p$$



Er geldt nu: $p_p + \Delta p_p = p_0 + \Delta p_0 + \rho gh$

Voor vloeistoffen is ρ nagenoeg onafhankelijk van de druk

Voorbeeld: water bij 0°C en 50 bar $\rho = 1002 \text{ kg/m}^3$
 water bij 4°C en 1 bar $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Combinatie van de uitdrukkingen geeft dan

$$\Delta p_p = \Delta p_0$$

Dit drukt het **Beginsel van Pascal** uit: als er een uitwendige druk op een vloeistof in een gesloten vat uitgeoefend wordt, dan wordt de uitgeoefende druk onverminderd overgedragen op elk punt in de vloeistof en op de wand van het vat waarin de vloeistof zich bevindt.

! Ton van Blaise Pascal (1623-1662)

Toepassingen van dit beginsel van Pascal zijn o.m. de hydraulische lift en hydraulisch bediende remmen in een voertuig.

Voorwerpen die ondergedompeld worden in een vloeistof lijken minder te wegen dan wanneer ze zich buiten de vloeistof bevinden. Dit verschijnsel vindt zijn verklaring in de **wet van Archimedes**.

Beschouw een cilindervormig lichaam ondergedompeld in een vloeistof met dichtheid ρ .

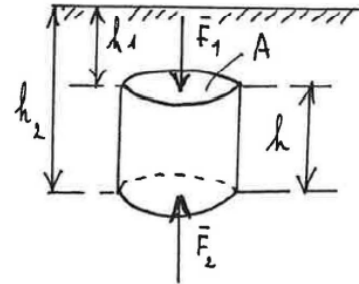
De hydrostatische drukkrachten op de mantel in symmetrische punten t.o.v. de as compenseren elkaar.

De grootte van de kracht \vec{F}_2 op het grondvlak

$$F_2 = p_2 A = (p_0 + \rho g h_2) A$$

De grootte van de kracht \vec{F}_1 op het bovenvlak

$$F_1 = p_1 A = (p_0 + \rho g h_1) A$$



Als resultante werkt er op het lichaam dus een **opwaartse stuwkracht** in grootte gelijk aan:

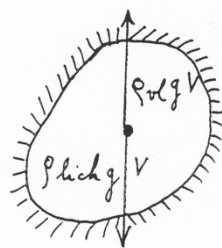
$$F_2 - F_1 = \rho g (h_2 - h_1) A = \rho g h A = \rho g V \quad \text{met } V \text{ het volume van het lichaam.}$$

Dit resultaat geldt eveneens voor een **lichaam met een willekeurige vorm**. Daarenboven geldt dit resultaat ook voor een **lichaam dat gedeeltelijk is ondergedompeld**. In dit geval is V het volume van het ondergedompeld deel of het volume van de verplaatste vloeistof.

Wet van Archimedes: een lichaam dat geheel of gedeeltelijk ondergedompeld wordt in een fluïdum, wordt opgelicht met een kracht die gelijk is aan het gewicht van het verplaatste fluïdum (**opwaartse stuwkracht**).

Het **aangrijpingspunt** van de opwaartse stuwkracht is het **zwaartepunt** van het fluïdumvolume aanwezig voor de verplaatsing !!!!

Algemeen kan gesteld worden dat op een ondergedompeld lichaam de volgende krachten inwerken:



→ de opwaartse stuwkracht naar boven gericht en in grootte gelijk aan $\rho_{\text{vloeistof}} g V$

→ de zwaartekracht naar beneden gericht en in grootte gelijk aan $\rho_{\text{lichaam}} g V$

Naargelang de dichtheid van het lichaam kleiner, groter of gelijk is dan/aan de dichtheid van het fluïdum, is de resultante van deze krachten naar boven of naar onder gericht of gelijk aan nul.

Conclusies uit dichtheid van water in combinatie met het beginsel van Archimedes :

⇒ Water bevriest eerst aan de oppervlakte

⇒ In een warmwaterbad bevindt het warmste water zich bovenaan.

Algemeen geldt:

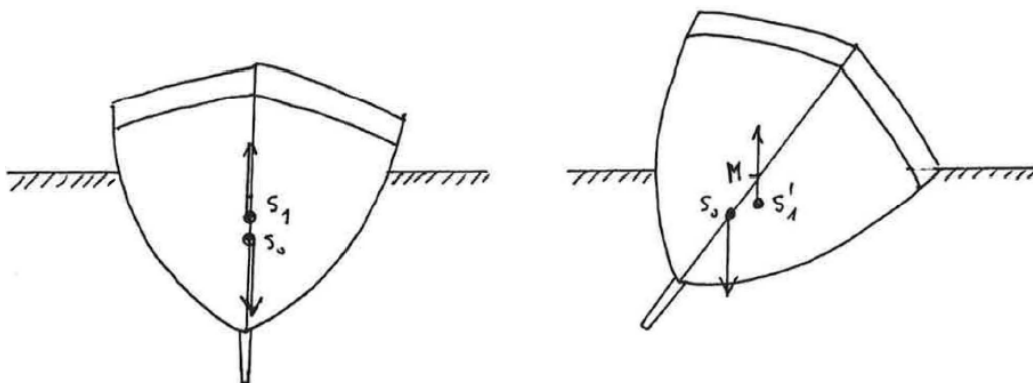
- Is het gewicht van het ondergedompelde lichaam groter dan het gewicht van de verplaatste vloeistof, dan zal het lichaam zinken in de vloeistof.
- Is het gewicht van het ondergedompeld lichaam kleiner dan het gewicht van de verplaatste vloeistof, dan zal het lichaam stijgen in de vloeistof.
- Is het gewicht van het lichaam gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof, dan zal het lichaam zweven in de vloeistof.

Bij een **drijvend** (gedeeltelijk ondergedompeld) **lichaam** wordt de **stabiliteit** van het lichaam **bepaald** door de plaats van het **zwaartepunt van het lichaam S_0** t.o.v. de plaats van het **zwaartepunt van de verplaatste vloeistof S_1** .

- Wanneer **S_0 lager** ligt **dan S_1** is het **drijvend lichaam stabiel**. Er werkt immers een stabiliserend koppel wanneer het lichaam uit de evenwichtstand wordt gebracht.

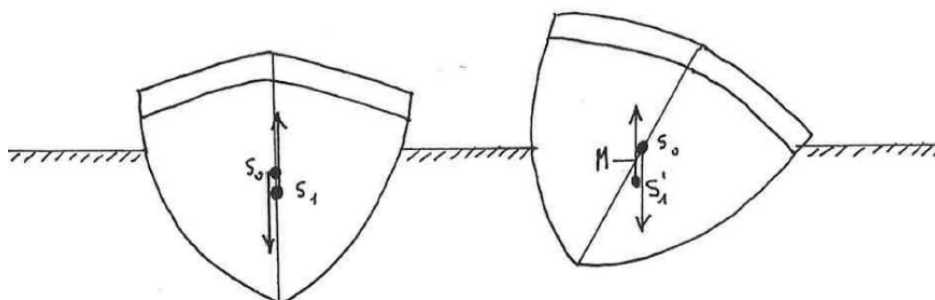
Bij een schip wordt de stabiliteitsvoorwaarde uitgedrukt via de plaats van het “**metacentrum**” **M**: snijpunt van de verticale door het zwaartepunt van het verplaatste water met de as van het schip bij kanteling.

- Blijft bij een kanteling het **metacentrum M boven S_0** is het schip **stabiel**.



- Wanneer **S_0 hoger** ligt **dan S_1** is het **drijvend lichaam onstabiel**. Er werkt immers een destabiliserend koppel van krachten wanneer het lichaam uit de evenwichtstand wordt gebracht.

- Komt bij een lichte kanteling van een schip het metacentrum **M onder S_0** te liggen gaat het **schip volledig kantelen**.



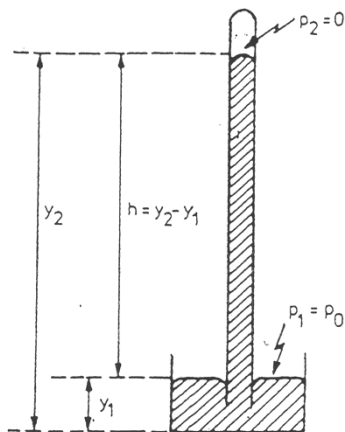
1.5. Het meten van druk

1.5.1. De kwikbarometer van Torricelli

Dit is een barometer die gebruikt wordt om de atmosferische druk te meten.

Een glazen buis van minimum 80 cm en aan één uiteinde dicht gesmolten, wordt opgevuld met kwik en omgekeerd in een kwikvat geplaatst.

De kwik daalt in de buis tot de hoogte van de kwikkolom zodanig is dat zijn gewicht per oppervlakte-eenheid de atmosferische druk compenseert. Bovenaan in de buis heerst de dampdruk van kwik (mag verwaarloosd worden bij kamertemperatuur).



De atmosferische druk op het kwikoppervlak in het vat, p_{atm} , is het gewicht per eenheid van oppervlakte van de luchtkolom tot op atmosferhoogte.

De atmosferische druk kan berekend worden uit de hoogte van de kwikkolom.

De **standaard-atmosferische druk** met praktische eenheid **1 atm**, is per definitie de druk van 76 cm kwik bij 0°C en een zwaartekrachtversnelling g van 980,655 cm/s².

Rekening houdend met $\rho_{Hg} = 13,595 \text{ g/cm}^3$ vindt men als conversiefactor:

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= (13,595 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3)(9,81 \text{ m/s}^2)(0,760 \text{ m}) \\ &= 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 1,013 \text{ bar} \end{aligned}$$

1.5.2. De open-buis manometer

In een vat heerst een druk p groter dan de atmosferische druk p_{atm} . De overdruk $p - p_{atm}$ kan rechtstreeks gemeten worden door een open-buis manometer. Dit is een open buis in een kwikvaatje.

Het hoogteverschil is een maat voor de overdruk:

$$\begin{aligned} p_2 - p_1 &= -\rho_{Hg}g(y_2 - y_1) \\ \text{of} \\ p - p_{atm} &= \rho_{Hg}gh \end{aligned}$$

met h de hoogte in de kwikkolom t.o.v. het niveau van het kwik in het vaatje.

Dit type manometer wordt gebruikt bij o.m. **bloeddrukmeting**.

Bij **geringe** drukverschillen wordt kwik vervangen door bijv. **water**.

