

Opdrift i vand og luft

Formål

I denne øvelse skal vi studere begrebet *opdrift*, som har en version i både en væske og i en gas. Vi skal lave et lille forsøg, som demonstrerer opdriften af et lod i noget vand samt et andet lille forsøg, hvor vi demonstrerer opdrift som værende det bærende princip i en varmluftsballon.

Apparatur til forsøg 1

Fremskaf et dynamometer, et måleglas og et cylinderformet aluminiumslod.

Volumen af lod

Bestem loddets *volumen* V ved at nedsænke loddet i vand og se hvor meget vandstanden øges. Bestem også loddets volumen på en anden måde: ved at måle højde og diameter med en lineal og benytte volumenformlen for en cylinder: $V = a \cdot h = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot h$. Hvad er mest nøjagtigt tror du? Skriv den bedste værdi for volumenet i feltet nedenfor:

Volumen: $V =$

Masse af lod

Massen af en genstand kan som bekendt bestemmes ved at veje genstanden på en vægt. Hvis man kender *massefylden* ρ og volumenet V af en genstand, kan man også beregne massen m efter formlen: $m = \rho \cdot V$. Vej loddet på en vægt og skriv massen i feltet:

Loddets masse: $m_{\text{lod}} =$

Prøv også at beregne loddets masse via volumenet overfor samt den ekstra oplysning, at massefylden for aluminium er 2700 kg/m^3 . Får du nogenlunde samme værdi, som ved at veje loddet?

Massen af loddet, hvis det bestod af vand

I denne opgave skal du forestille dig, at metallet i loddet er fjernet og erstattet af vand. Vi skal finde massen $m_{\text{fortrængt vand}}$ af det nye lod, der består af vand. Meningen med den lidt mærkelige betegnelse vil fremgå senere. Da vi ikke kan lægge ”vandloddet” på vægten og veje det, er du nødt til at beregne det ved hjælp af formlen $m = \rho \cdot V$. Hvad er massefylden for vand? Skriv den beregnede værdi for massen i feltet:

Massen af det fortrængte vand: $m_{\text{fortrængt vand}} =$

Tyngdekraften på loddet

Tyngdekraften F_t på en genstand fås ved at gange genstandens masse med *tyngdeaccelerationen* $g = 9,82 \text{ m/s}^2$: $F_t = m \cdot g$. Beregn tyngdekraften på aluminiumsloddet og skriv det i feltet nedenfor. Enheden er N (Newton).

Tyngdekraften på loddet: $F_t =$

Tyngdekraften på det fortrængte vand

Beregn tyngdekraften $F_{\text{fortrængt vand}}$ på ”vandloddet” på samme måde som ovenfor og skriv det i feltet herunder.

Tyngdekraften på den fortrængte vand: $F_{\text{fortrængt vand}} =$

Begrebet opdrift

Når et legeme befinder sig i en væske, så vil den omkringliggende væske påvirke legemet med en opad rettet kraft. En af alle tiders største naturvidenskabelige genier var *Archimedes* fra *Syracus* (287 f. Kr. – 212 f. Kr.). Han opdagede den lov, som i dag går under navnet *Archimedes' lov*:

Opdriften på et legeme nedsænket i en væske er lig med tyngden (= tyngdekraften) af den fortrængte væske.

Archimedes lov' har også en version, når mediet er en gas:

Opdriften på et legeme, der befinder sig i en gas, er lig med tyngden af den fortrængte gasmængde.

Internetsiden <http://www.mcs.drexel.edu/~crrres/Archimedes/contents.html> indeholder en fremragende beskrivelse af Archimedes' bedrifter.

Opdriften beregnet

Den har du faktisk allerede udregnet, for Archimedes' lov siger, at opdriften F_{op} på et legeme nedsænket i vand er $F_{\text{op}} = F_{\text{fortrængt vand}}$.

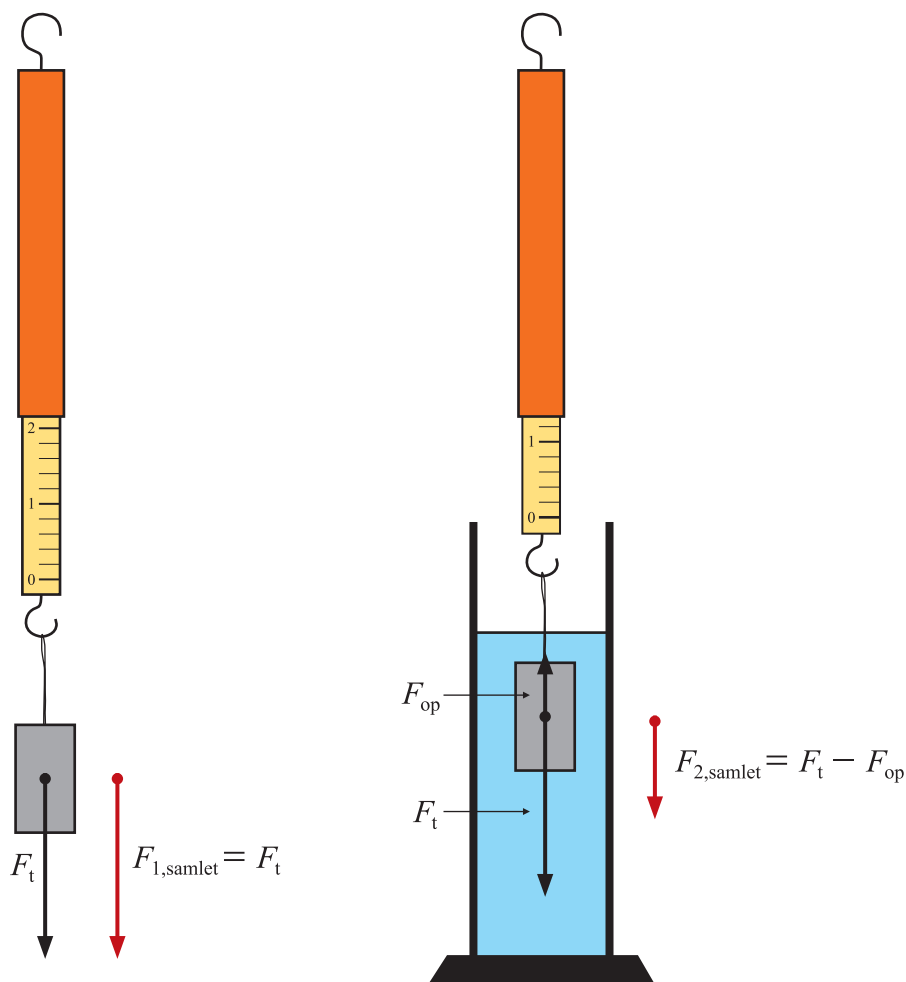
Opdriften målt

Næste punkt er at måle opdriften og se, om den stemmer pænt overens med den beregnede. Du skal her bruge et dynamometer (kraftmåler) til at få en god værdi for opdriften på et metallod: Mål den kraft $F_{1,\text{samllet}}$, som dynamometeret viser, når loddet hænger frit ned i luften fra dynamometeret. Mål dernæst den kraft $F_{2,\text{samllet}}$, som dynamometeret viser, når loddet er nedsænket i vand fra dynamometeret – så loddet er helt under vand og ikke

rører bunden! (se figur 1). Da er $F_{1,\text{samlet}} - F_{2,\text{samlet}}$ en god værdi for opdriften F_{op} . Udfyld felterne:

$$F_{1,\text{samlet}} = \boxed{} \quad F_{2,\text{samlet}} = \boxed{} \quad F_{1,\text{samlet}} - F_{2,\text{samlet}} = \boxed{}$$

Figur 1



På ovenstående to figurer har vi indtegnet de kræfter, som virker på loddet henholdsvis i luft og vand, når dynamometeret *ikke* er påmonteret, samt de *samlede* kræfter, som fås ved at lægge de enkelte kræfter sammen (med fortegn). Det er de samlede kræfter, som dynamometeret måler, når det påmonteres.

Bemærkning

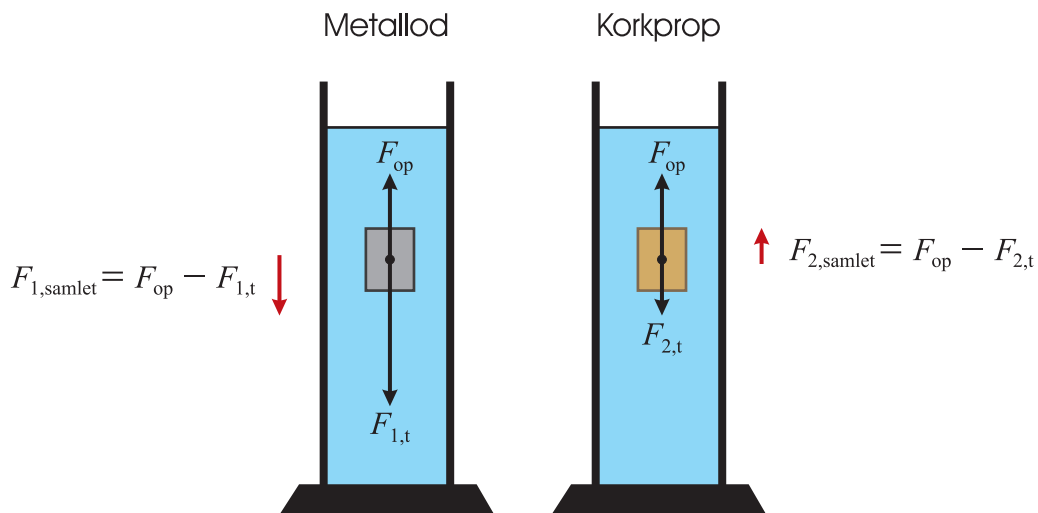
Principielt er der en lille fejl på figuren til venstre. Kan du se, hvad det er? Fejlen vi begår er dog så lille at vi kan se bort fra den – den drukner i måleusikkerheden.

Lidt ekstra teori

På figuren til højre er et metallod og en korkprop med samme volumen V tænkt nedsænket i noget vand. Du skal argumentere for, hvorfor opdriften på metallodet og opdriften på korkproppen er lige store? Dette er illustreret ved, at de to opad rettede pile på objekterne er lige lange! Derimod er *tyngdekræfterne* $F_{1,t}$ og $F_{2,t}$ på objekterne forskellige, illustreret med pile med forskellig længde. Vi har nemlig $F_t = m_{\text{objekt}} \cdot g = \rho_{\text{objekt}} \cdot V \cdot g$ og metallodet har som bekendt en større massefylde end korkproppen! Den *samlede kraft* fås ved at medregne alle de kræfter, som virker på objektet:

$$(1) \quad F_{\text{samlet}} = F_{\text{op}} - F_t = \rho_{\text{vand}} \cdot V \cdot g - \rho_{\text{objekt}} \cdot V \cdot g = (\rho_{\text{vand}} - \rho_{\text{objekt}}) \cdot V \cdot g$$

Hvis F_{samlet} er positiv, vil objektet stige op, hvorimod det vil falde til bunds, hvis F_{samlet} er negativ. Ifølge (1) vil objektet altså stige op, hvis $\rho_{\text{objekt}} < \rho_{\text{vand}}$ og falde til bunds, hvis $\rho_{\text{objekt}} > \rho_{\text{vand}}$, fuldstændigt som vi vil forvente det. Men opdriften på de to objekter er altså lige store!!!

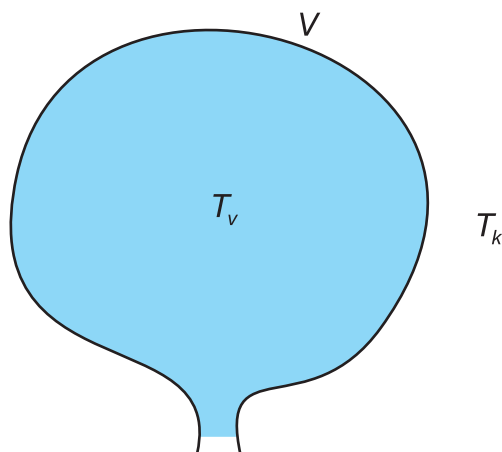


Apparatur til forsøg 2

En stor plastikpose bestående af ultra tynd plastik, en hårtørrer og små lodder eller ståltråd, evt. tape.

Opdrift i luft

Anvend en helst stor plastikpose bestående af ultra tynd plastik. Klæb den sammen, eventuelt ved at smelte den sammen med en hårtørrer eller sørg på anden måde for, at der kun er en lille åbning forneden i posen. Man skal kunne få hårtørreren op gennem hullet. Pas på, at hårtørreren ikke bliver overophedet! Registrer, at ballonen stiger til vejrs! Prøv eventuelt at se, hvor meget ballonen kan laste – fx ved at anvende små stykker ståltråd.



Regn på en varmluftsballon

Forskellige størrelser

$m_{\text{kold luft}}$	Massen af luften i ballonen, mens luften stadig ikke er opvarmet – altså har samme temperatur som den omgivende luft.
$m_{\text{varm luft}}$	Massen af luften i ballonen, når den er opvarmet.
m_{ballon}	Massen af selve ballonen., uden luft i.
$m_{\text{max last}}$	Den maksimale masse, varmluftsballonen kan bære, uden at falde ned.
V	Ballonens volumen.
T_k	Temperaturen af den omgivende kolde luft.
T_v	Temperaturen af den varme luft i ballonen.
n_k	Antal mol luftmolekyler i ballonen, når luften er kold.
n_v	Antal mol luftmolekyler i ballonen, når luften er varm.
M	Molarmassen af atmosfærisk luft.
F_{op}	Opdriften i ballonen.
ρ_k	Massefylden af den kolde luft.
ρ_v	Massefylden af den varme luft.

Opgaver

I de følgende beregninger vil vi gå ud fra, at når vi opvarmer luften i ballonen, så bliver temperaturen i ballonen overalt den samme (T_v), og udenfor overalt den samme (T_k).

- a) Er denne antagelse helt realistisk i praksis? (Diskutér)

Det oplyses, at atmosfærisk luft består af ca. 78% kvælstof (N_2), ca. 21% ilt (O_2) og ca. 1 % argon (Ar).

- b) Bestem molarmassen M for atmosfærisk luft ved at udregne det *vejede gennemsnit* af de enkelte molekyltypers molarmasser (vægt med de relative forekomster).

Lad os i det følgende antage, at vi vil lave en varmluftsballon af en stor affaldspose af hyperlet plastik med volumenet 75 liter og massen 7,4 gram. Idealgasligningen kan benyttes til at udregne, hvor mange mol luftmolekyler, der er i ballonen, når luften er uopvarmet ved 20°C henholdsvis opvarmet ved 90°C.

$$(2) \quad p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (\text{Idealgasligningen})$$

hvor p er trykket målt i Pa (Pascal), V er volumenet, n er antal mol stof i ballonen, T er temperaturen i Kelvin (læg 273 til Celsius-temperaturen) og R er den såkaldte *gaskonstant*, der har værdien $R = 8,3145 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$. ”Almindelig” tryk ved jordoverfladen er 1 atmosfære eller 101325 Pa. Molarmassen M angiver, hvor meget 1 mol af stoffet vejer. Massen m fås derfor ved at gange molarmassen med antallet af mol:

$$(3) \quad m = n \cdot M$$

- c) Bestem n_k og n_v ved hjælp af idealgasligningen. *Hjælp*: Isolér n .
- d) Beregn $m_{\text{kold luft}}$ og $m_{\text{varm luft}}$ vha. b) og (3).
- e) Find ballonens opdrift F_{op} . Husk Archimedes’ lov!
- f) Bestem ballonens maksimale nyttelast $m_{\text{max last}}$.
(*Hjælp*: Hvilke kræfter virker nedad og hvilke kræfter virker opad?)
- g) Hvad er massefylden af den kolde og den varme luft (ρ_k og ρ_v)?