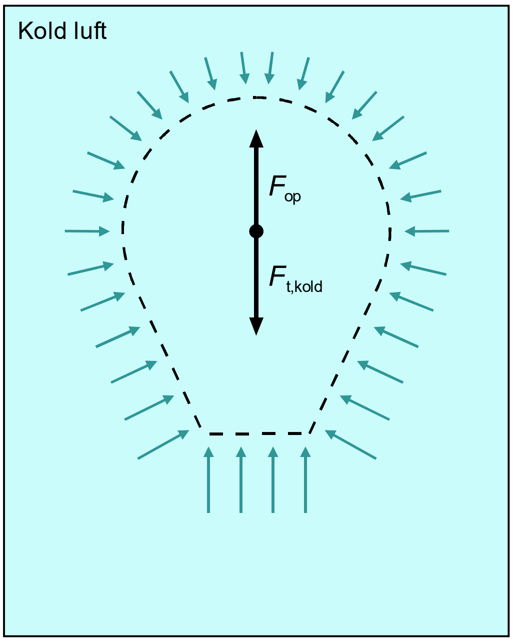
Varmluftsballon

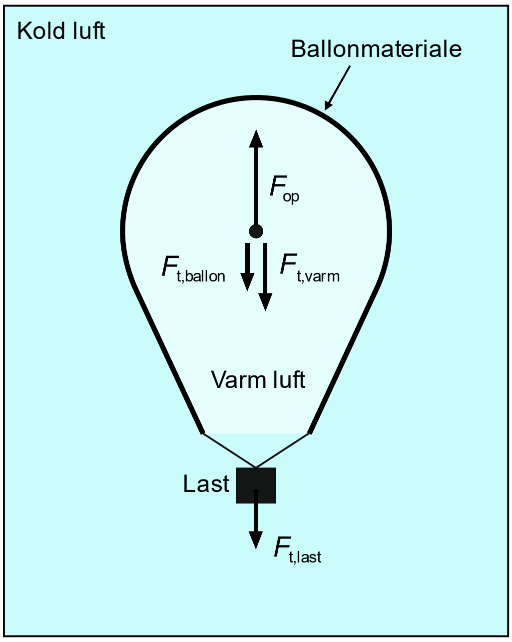
En varmluftsballon udnytter princippet bag *Archimedes' lov* om opdrift, som i tilfældet med et legeme i luft kan udtrykkes således:

Archimedes' lov

Opdriften på et legeme, som befinder sig i luft, er lig med *tyngden* af den fortrængte luft.

Med *tyngden* menes tyngdekraften. Loven udtaler sig således om *kræfter* og regnes dermed i Newton (N). Opdriften er den opadrettede kraft, der på trods af alle andre kræfter, som peger nedad, kan få en ballon til at lette. Opdriften skyldes overordnet, at trykket på undersiden af ballonen er større end trykket på oversiden af ballonen. Det er indikeret med pile på figuren herunder til venstre. Trykforskellen skyldes, at trykket aftager med højden over jordoverfladen.





$$F_{samlet} = F_{op} - F_{t,varm} - F_{t,ballon} - F_{t,last}$$

Måske du har set udledninger af Archimedes' lov i tilfældet med et kasseformet objekt? Man kan imidertid også redegøre for Archimedes' lov ved et elegant argument, som endda virker i tilfælde, hvor objektet ikke er kasseformet, som her: På figuren til venstre er et virtuelt område af den kolde luft vist med en stiplet kurve. Luften heri er naturligvis i ro, da der ikke er forskel på dette område og det omkringliggende luft. Derfor må den samlede kraft på luften indenfor dette område være 0. Eftersom den kolde luft er påvirket af tyngdekraften $F_{\text{t,kold}} = m_{\text{kold}} \cdot g$, må luften også være påvirket af en lige så stor men modsat rettet kraft, altså opdriften. Formlen viser, at opdriften er netop tyngden af den fortrængte kolde luft. På figuren til højre er området blevet afgrænset af noget ballonmateriale, hvorefter luften i ballonen er blevet varmet op, hvilket er vist med en lidt lysere blå farve. Under opvarmningsprocessen er en del af luftmolekylerne sluppet ud i ballonens åbne ende, hvorved luften er blevet tyndere. Tyngdekraften på den varme luft er dermed *mindre* end tyngdekraften på den kolde luft. Vi ser, at der er tre ting, som tynger nedad, nemlig den varme luft, ballonmaterialet samt lasten. Om ballonen kan lette afgøres af, om den samlede kraft på ballonen er positiv (vi regner positivt opefter):

(1)
$$\begin{aligned} F_{\text{samlet}} &= F_{\text{op}} - F_{\text{t,varm}} - F_{\text{t,ballon}} - F_{\text{last}} \\ &= m_{\text{kold}} \cdot g - m_{\text{varm}} \cdot g - m_{\text{ballon}} \cdot g - m_{\text{last}} \cdot g \\ &= (m_{\text{kold}} - m_{\text{varm}} - m_{\text{ballon}} - m_{\text{last}}) \cdot g \end{aligned}$$

Forsøg

Man kan relativt nemt lave et forsøg med en varmluftsballon, hvis man har noget tyndt afdækningsplastik, noget bredt tape, nogle små lodder og nogle varmeblæsere/hårtørrere og forlængerledninger – samt selvfølgelig et stort rum at sende ballonen til vejrs i (som for eksempel festsalen vist på billedet herunder).

Hvis man under forsøget foretager nogle vurderinger af ballonens volumen V, når ballonen er udspændt og tager temperaturen udenfor ballonen og indenfor ballonen (fx midt i), så kan man endda foretage beregninger over den teoretiske set maksimale lastevne. Husk at veje ballonen bagefter på en vægt, når den er foldet godt sammen.

Beregninger

Man kan regne luften som en *ideal gas*, dvs. vi kan benytte følgende sammenhæng:

Idealgasligningen

For en ideal gas gælder følgende ligning:

(2) $$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

hvor p er trykket, V er volumen, n er stofmængden, T er den absolutte temperatur i Kelvin og $R = 8{,}3145\ \mathrm{J/mol \cdot K}$ er gaskonstanten.

Massen m af en gas kan fås ved at gange stofmængden n med molarmassen M. I vores tilfælde med atmosfærisk luft kan det oplyses, at molarmassen er 28,96 g/mol. Prøv evt. selv at eftervise dette ved at foretage et vægtet gennemsnit af de forskellige stoffer, som atmosfærisk luft består af (ca. 78% N_2, 21% O_2 samt 1% Ar).

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

Opgave 1

En ballon har rumfanget 4,5 m^3. Ballonens egen masse er 380 gram. Temperaturen udenfor ballonen er 19°C, mens den inde i ballonen er 62°C i midten.

a) Benyt idealgasligningen (2) samt (3) til at bestemme massen m_{kold} af den kolde luft (Husk at regne temperaturer i Kelvin!).
b) Gentag metoden under a) til at bestemme massen m_{varm} af den varme luft i ballonen.
c) Benyt a) samt Archimedes' lov til at bestemme opdriften på ballonen.
d) Brug (1) til at vise, at den maksimale lastevne kan findes via formlen

(4) $$m_{\text{max last}} = m_{\text{kold}} - m_{\text{varm}} - m_{\text{ballon}}$$

Brug dernæst formlen til at bestemme den maksimale lastevne for ballonen.

Opgave 2

a) Vis, at der gælder følgende formel for *massefylden* (eller *densiteten*) af en ideal gas med molarmasse M, som er udsat for trykket p og den absolutte temperatur T:

(5) $$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$$

Hjælp: Husk at $\rho = m/V$ og udnyt derefter (2) og (3) ovenfor.

b) Benyt formel (5) til at bestemme densiteten af både den kolde luft og den varme luft fra opgave 1.