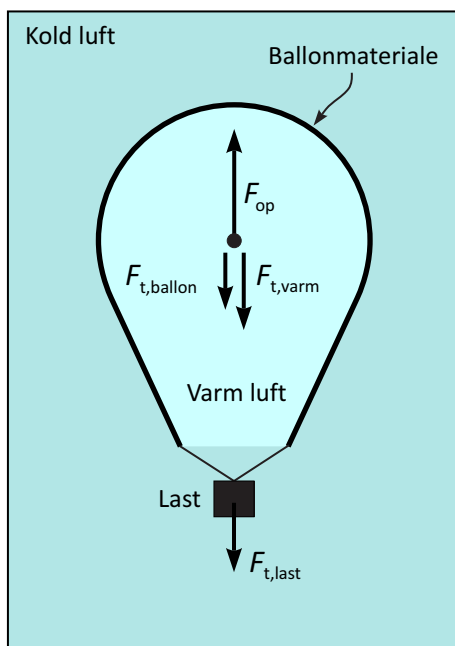


Hvor meget kan en varmluftsballon løfte?

Vi skal bestemme hvor meget en varmluftsballon teoretisk kan løfte. Udgangspunktet for at kunne afgøre dette er at vi indtegner kræfter på ballonen.



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

Der er tre *kræfter*, som peger nedad: Tyngdekræfterne på ballonmaterialet, lasten samt den varme luft. Der er én kraft, som peger opad: Opdriften. Det er oplagt, at hvis ballonen skal stige til vejrs, så skal opdriften være mindst lige så stor som summen af de kræfter, som peger nedad. Sagt med symboler er betingelsen:

$$(1) \quad F_{\text{op}} \geq F_{\text{t,varm}} + F_{\text{t,ballon}} + F_{\text{t,last}}$$

hvilket er det samme som

$$(2) \quad F_{\text{op}} - F_{\text{t,varm}} - F_{\text{t,ballon}} \geq F_{\text{t,last}}$$

Vi skal regne på de enkelte kræfter. Ifølge Archimedes' lov er opdriften lig med tyngden af den *fortrængte kolde luft*. Vi har altså at gøre med fire tyngdekræfter, og tyngdekræfter er altid lig med massen af den pågældende ting ganget med tyngdeaccelerationen g . Indsættes dette i (2) fås:

$$(3) \quad m_{\text{kold}} \cdot g - m_{\text{varm}} \cdot g - m_{\text{ballon}} \cdot g \geq m_{\text{last}} \cdot g$$

Divideres på begge sider med g fås:

$$(4) \quad m_{\text{kold}} - m_{\text{varm}} - m_{\text{ballon}} \geq m_{\text{last}}$$

Tilbage står blot at bestemme de tre størrelser på venstre side i uligheden. Ballonen uden luft i kan man bare veje på en vægt, så haves m_{ballon} . Det er straks lidt værre med masserne af den varme og kolde luft. For at vurdere det skal vi ty til den såkaldte *Idealgasligning*, der lyder som følger:

$$(5) \quad p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

hvor p er trykket målt i Pa (Pascal), V er volumenet, n er antal mol stof (her luft 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 (her luft) vejer. Massen m fås derfor ved at gange molarmassen med antallet af mol:

$$(6) \quad m = n \cdot M$$

I det følgende vil vi benytte disse betegnelser:

V	Ballonens volumen
T_k	Temperaturen af den <i>kolde</i> omgivende luft
T_v	Temperaturen af den <i>varme</i> 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_k	Massen af den fortrængte <i>kolde</i> luft
m_v	Massen af den <i>varme</i> luft i ballonen
M	Molarmassen af atmosfærisk luft

Det oplyses at molarmassen af atmosfærisk luft er 28,96 g/mol.

Opgaver

a) Læs og prøv at forstå ovenstående teori.

I det følgende antager vi, at vi har at gøre med en ballon med volumen 2200 m^3 , og at ballonmaterialet + kurv og andet vejer 250 kg. Vi antager at temperaturen udenfor er 15°C og indenfor ballonen er 90°C .

- b) Er antagelsen om temperaturerne helt realistisk? (diskuter)
- c) Bestem n_k og n_v ved hjælp af idealgasligningen.
- d) Bestem masserne m_k og m_v .
- e) Hvor meget ekstra last kan ballonen løfte?
- f) Hvor stor er opdriften på ballonen?

Ekstra: Hvad er *massefylden* af luften i ballonen og udenfor?