

Povlonis Innovation
Povl-Otto Nissen

Boyle-Mariottes lov

Boyle-Mariottes lov, $p \cdot V = k$, handler om, at trykket p gange rumfanget V i en indelukket luftmasse ved uændret temperatur T er konstant. Tidligere er påvisningen af dette sket ved hjælp af et arrangement med forskydelige kviksølv søjler. På grund af kviksølv dampes skadelige virkning er det anvendte apparat udgået som undervisningsmateriel.

Der er i stedet opstået en idé, hvor grundmaterialet er en 100 mL plastiksprøjte og en badevægt. Dette er beskrevet nedenfor.

Teori:

Grundlaget er luftarternes tilstandsligning, - også kaldet idealgasligningen. Den handler om sammenhængen mellem tryk, rumfang og temperatur i en indelukket luftmasse, hvor luften "ligger langt fra" en faseovergang, dvs at den *ikke* er lige ved at fortætte til væske, når den presses sammen eller afkøles.

Tilstandsligningen ser således ud:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

hvor p er trykket, V er rumfanget, n er antal mol, R er gaskonstanten og T er temperaturen i Kelwin. Gaskonstanten R angiver energi pr mol pr grad.

$$R = 8,31 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Når T holdes på en konstant værdi, er hele højre side af ligningen en konstant, altså

$$p \cdot V = k$$

Det er dette specialtilfælde af tilstandsligningen, som hedder Boyle-Mariottes lov.

Af ligningen ses, at tryk og rumfang er omvendt proportionale.

Forsøget med plastiksprøjten og badevægten går ud på at påvise dette.

Fremgangsmåde:

Plastiksprøjten indstilles, så den indeholder et vist rumfang, f.eks. 50 mL.

Sprøjtespidsen gøres tæt, f.eks. med en stump gummislange og en klemskrue eller en prop.

Vi har nu en indelukket luftmasse på $V=50$ mL med det samme tryk B som udenfor, altså forsøgstidspunktets barometerstand.

Dette er udgangstilstanden, når vi nu ændrer tryk og rumfang ved henholdsvis at presse stemplet ind eller trække stemplet ud, mens sprøjten "står oven på" badevægten.

På badevægten kan vi aflæse den kraft, vi trykker eller trækker med. Se figur 1.

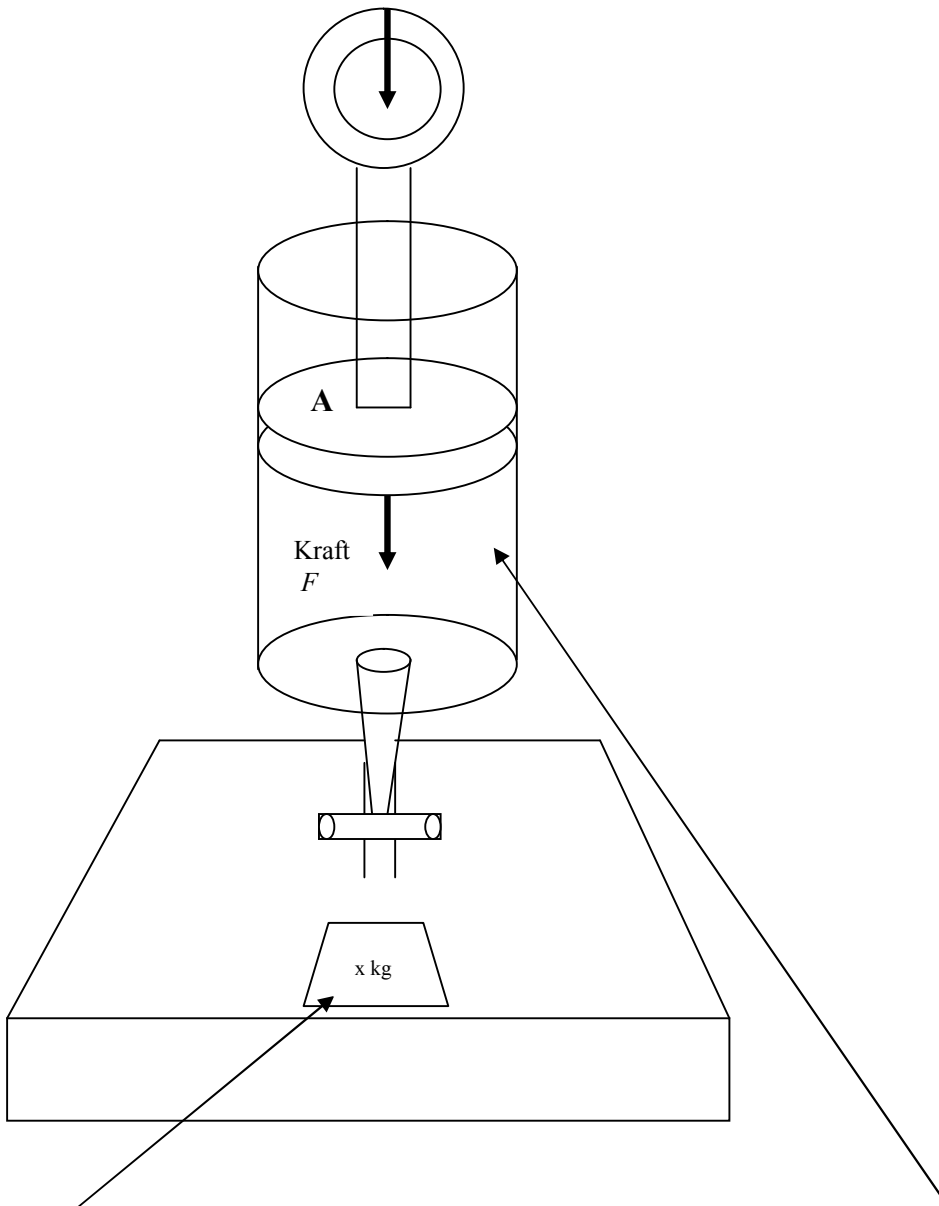
Ifølge tilstandsligningen skulle luften blive varmere under sammenpresningen, og koldere når der laves undertryk. Der er imidlertid kun tale om små temperaturændringer, som hurtigt udlignes i forhold til omgivelsernes temperatur, hvorfor vi antager, at temperaturen T i praksis er konstant, mens vi laver målingerne.

Undersøgelse ved overtryk

Anbring sprøjten på vægten. Pres nedad og hold presset på et bestemt antal kg på badevægten, mens en kammerat aflæser det tilhørende rumfang V på sprøjtes måleskala. Notér.

Gentag med forskellige belastninger.

Figur 1



Aflæs m og omregn til trykændring $\Delta p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A}$

Aflæs rumfang V
på sprøjtes måleskala

Trykket inde i sprøjten vil være $p = B \pm \Delta p \Leftrightarrow p = B \pm \frac{mg}{A}$

Hvor B er dagens barometerstand.

Undersøgelse ved undertryk

Tilfældet med undertryk ved rumfangsforøgelse kræver en opstilling, hvor sprøjtens stempel hænges op i en tværstang på to stativstænger, der står i tøndefødder på badevægten. Når man trækker nedad i sprøjtecylinderen, vil trækket i stemplet kunne aflæses på badevægten. De fleste badevægte har en skrue, så man kan nulstille først.

Sammenhæng mellem størrelser og måleenheder

Tryk

Definition: Kraft pr. areal

på symbolform: $P = \frac{F}{A}$, - eller B , når der er tale om barometerstanden

1 atm = 760 mm Hg = 1013,25 hPa = 101325 Pa = 101325 N/m²

1 atm betyder en atmosfæres tryk, som svarer til 760 millimeter kviksølv, dvs at det normale lufttryk kan bære en 76 cm høj kviksølvsøjle. Hg er en forkortelse af Hydrargium, som er den internationale betegnelse for kviksølv. Pa (pascal) er en måleenhed for tryk, som svarer til newton pr. kvadratmeter (N/m²). Hektopascal (hPa) kaldes også sommetider millibar.

Rumfang

symbol V

Eksempel: 50 mL = 0,05 L = 0,05 dm³ = 0,00005 m³ = 5*10⁻⁵ m³

Efterbehandling

Boyle-Mariottes lov siger at $p \cdot V = k$

Med de ovenfor valgte startbetingelser vil denne konstant være

$$k = 101325 \text{ N/m}^2 * 5*10^{-5} \text{ m}^3 = 5,06625 \text{ Nm} = 5,06625 \text{ Joule}$$

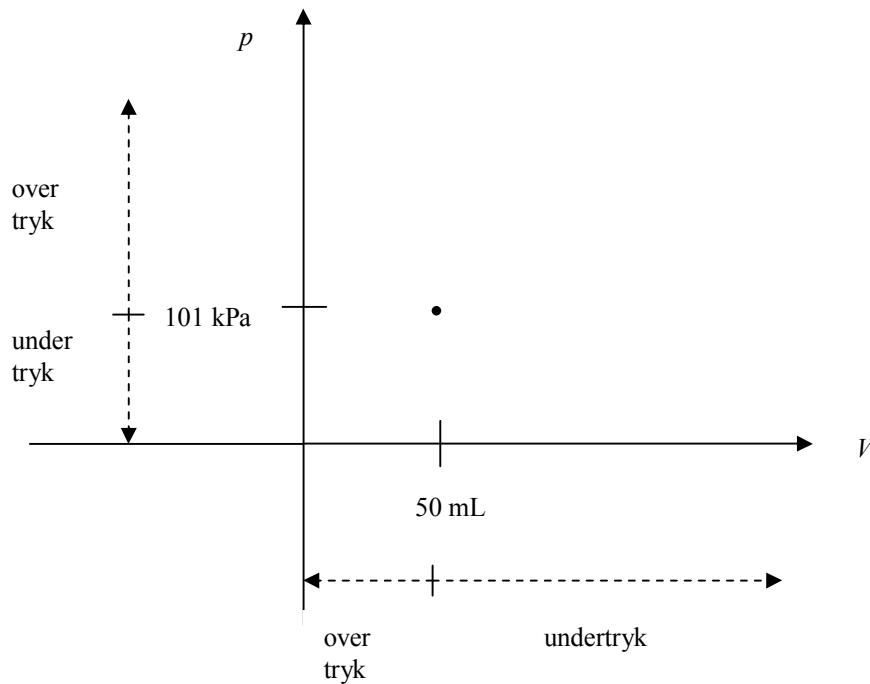
Det varierende tryk inde i sprøjten kan findes ved udregning af

$$p = B \pm \Delta p \Leftrightarrow p = B \pm \frac{mg}{A}$$

hvor B er barometerstanden (starttrykket), m er antal kg aflæst på badevægten, g er 9,82 N/kg og A er stemplets areal. Plusset anvendes ved overtryk og minusset ved undertryk.

De målte sammenhørende værdier af p og V kan nu plottes i et kordinatsystem (V på førsteaksen og p på andenaksen), - eller man kan multiplicere dem med hinanden og se om alle produkter bliver ens.

Grafisk tolkning af måleresultaterne



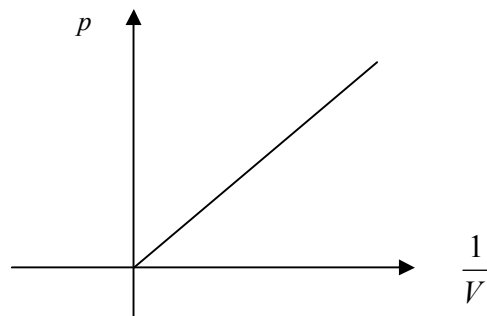
50 mL ved 101 hPa er startbetingelserne.

Ved overtryk vil grafen ligge op langs andenaksen.

Ved undertryk vil grafen ligge hen langs førsteaksen. Hele grafen bliver en hyperbel.

Udtrykket $p \cdot V = k$ kan også skrives $p = k \cdot \frac{1}{V}$

Ved at plote $\frac{1}{V}$ på førsteaksen og det tilhørende p på andenaksen,



vil konstanten k vise sig som en ret linie. Beviset på den omvendte proportionalitet mellem p og V .

Resultater fra en gennemført måling:

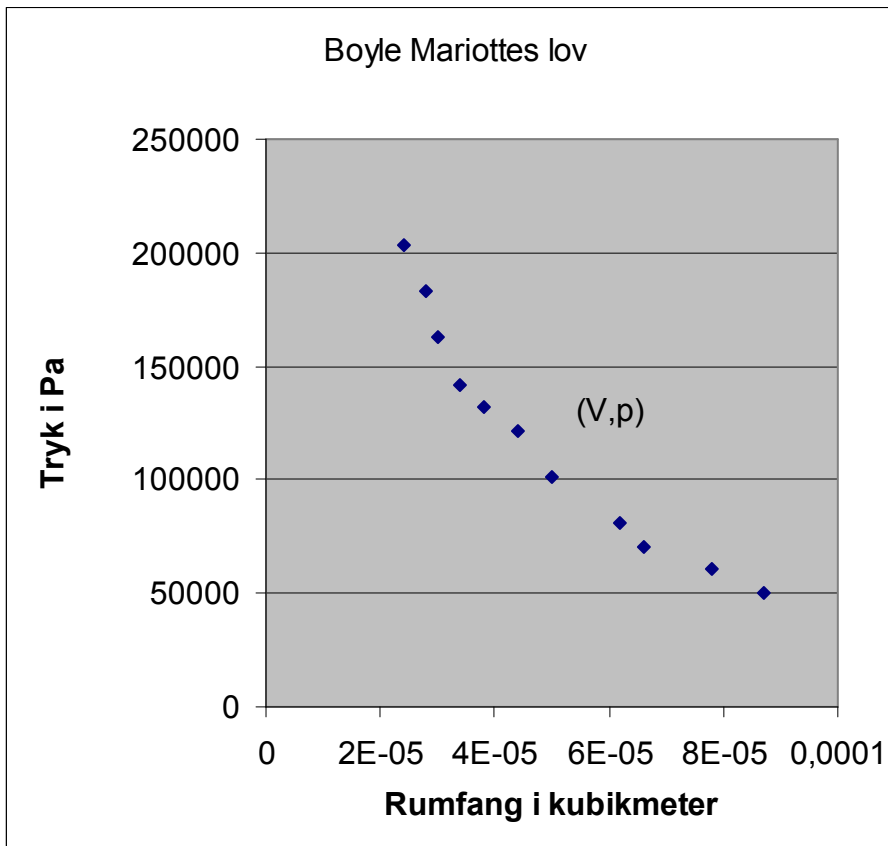
Boyle-Mariottes lov

Startbetingelser

Indtast barometerstanden	101300	Pascal
B:		
Indtast startrumfang V:	0,00005	kubikmeter
Indtast stempeltværmål:	0,035	meter
Stempelareal A:	9,61625E-04	kvadratmeter

Belastning af vægt i kg	Trykændr dp=F/A	Tryk p=B+/-dp	V i kubikm	p*V = k	Afvigelse
0	0	101300	0,00005	5,07	0,00
2	20423,76	121723,76	0,000044	5,36	-0,05
3	30635,64	131935,64	0,000038	5,01	-0,05
4	40847,52	142147,52	0,000034	4,83	-0,23
6	61271,29	162571,29	0,00003	4,88	-0,19
8	81695,05	182995,05	0,000028	5,12	0,06
10	102118,81	203418,81	0,000024	4,88	-0,18
2	-20423,76	80876,24	0,000062	5,01	-0,05
3	-30635,64	70664,36	0,000066	4,66	-0,40
4	-40847,52	60452,48	0,000078	5,51	0,45
5	-51059,40	50240,60	0,000087	6,15	1,08

Negative dp = Undertryk



Desværre er idéen til denne fremgangsmåde ikke min.
Den fremlægges blot her i bearbejdet og afprøvet form.

God fornøjelse! – Povl-Otto Nissen, cand.pæd.fysik.