

FUF rapport 9 - 0-Kelvin

Jogvan og Stine

19. november 2001

Det absolutte nulpunkt

Formål

Vi vil med denne rapport gøre et forsøg på at finde det absolutte nulpunkt for temperatur - nemlig de 0 grader Kelvin.

Metode

For en idealgas gælder tilstandsligningen:

$$P \cdot V = N \cdot K_B \cdot T \quad (1)$$

hvor P er trykket, V er volumen, N er partikeltallet, K_B er Boltzmanns konstant og T er temperaturen. Det betyder, at hvis vi har en beholder med gas som vi kan holde volumen konstant, vil vi få en lineær sammenhæng mellem trykket og temperaturen. Ved at opvarme gassen og måle hvordan trykket afhænger af temperaturen, vil vi kunne ekstrapolere os frem til hvad temperaturen ville være hvis trykket blev 0 - og dermed finde den lavest mulige temperatur, altså temperaturens 0-punkt.

Vi har en lukket kolbe med luft der er tilsluttet et 'barometer' vha. en slange. Kolben sænkes i et vandbad som opvarmes. Nu kan vi måle temperaturen i vandet og trykket i beholderen. Barometeret er konstrueret som en gennemsigtig slange, der går som en vandlås. Det betyder, at når gassen trykker ned på den ene vandsøjle, så hæves den anden. Forskellen mellem de to vandsøjlers højder giver et mål for trykket. Den måde vi holder gassens volume konstant på er ved at forskyde slangen med den ene vandsøjle således at den der er knyttet til gassen er på samme niveau hele tiden.

Vores målinger løber over et snævert temperaturinterval, som skyldes at barometeret ikke kunne måle længere. Havde vi f.eks. haft kviksølv i barometeret i stedet for vand, ville vi have nået et meget større spænd. Vi har dog fået rimelige måleresultater.

Måleresultater

Vi har indsamlet følgende måleresultater. Bemærk, at højden i skemaet angiver forskellen mellem vandsøjlen og et fastsat nulpunkt på søjlen. Det har ikke nogen betydning hvor nulpunktet ligger, da vi kun skal bruge den relative størrelse. Men vi har tilstræbt at det skulle være så nemt at aflæse som muligt, samt at vi kunne måle over så stort spænd som muligt. Det betyder bare, at trykket inde i beholderen er netop en atmosfære ved $23,4^{\circ}\text{C}$ - vandsøjlerne er lige høje.

Temperatur /C	Højde /cm	Temperatur /C	Højde /cm
16,2	-26	24,6	3
16,8	-24	26,6	7
17,4	-16	27,6	14
18,0	-17	29,1	18
19,5	-11	31,0	34
21,1	-10	32,6	42
22,5	-7	34,0	45
23,4	0	35,5	53

Øvrige størrelser

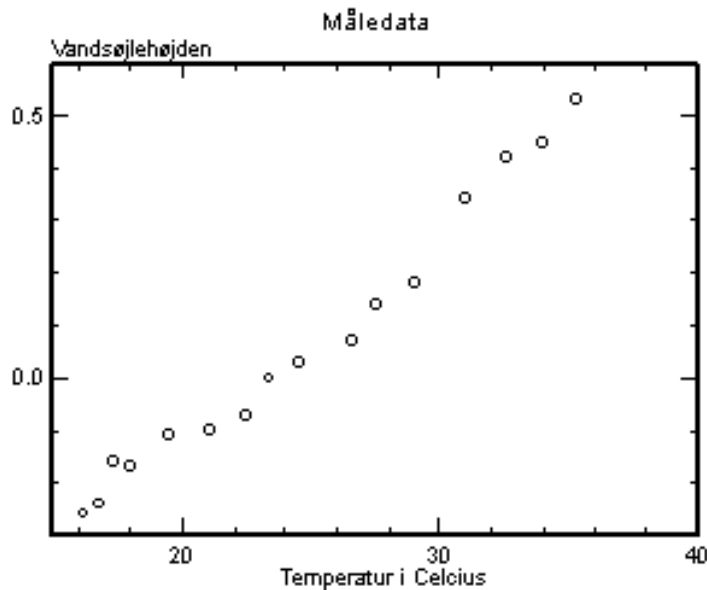
Vands massefylde	$\rho = 1000$	kg/m^3
Tyngdekraften	$g = 9,82$	m/s^2
Atmosfærisk tryk	$P_0 = 1,013 \cdot 10^5$	N/m^2

Teori

Som vist i ligning (1) får vi, når volumen V og partikeltallet N er konstante, følgende relation mellem tryk og temperatur

$$P = \left(\frac{1}{V}NK_B\right)T \quad (2)$$

Gassen i beholderen yder et tryk på vandsøjlen som får den til at stige. Det tryk er det atmosfæriske tryk plus det bidrag som temperaturstigningen giver. Vores nulpunkt for trykket er ved det atmosfæriske tryk, hvilket betyder, at den del af trykket der forårsages af temperaturstigningen er det der bidrager til søjlestigningen. Vandsøjlen yder tilsvarende modtryk som tyngdekraften forårsager. Vi kan derfor finde frem til det samlede tryk ved at lægge det atmosfæriske tryk sammen med det som tyngdekraften F_g yder på vandsøjlen.



Figur 1 Figuren viser de målte værdier for højden som funktion af temperaturen

Tryk er givet ved kraft pr areal, så tyngdekraftens modtryk er F_g/A , hvor A er vandsøjleens tværsnitsareal

$$P = P_0 + \frac{F_g}{A} = P_0 + \frac{m_{\text{vand}} \cdot g}{A} \quad (3)$$

Massen af vandet i vandsøjlen er givet ved volumen gange massefylden og vi får

$$P = P_0 + \frac{m_{\text{vand}} \cdot g}{A} = P_0 + \frac{\rho \cdot h \cdot A \cdot g}{A} = P_0 + \rho gh \quad (4)$$

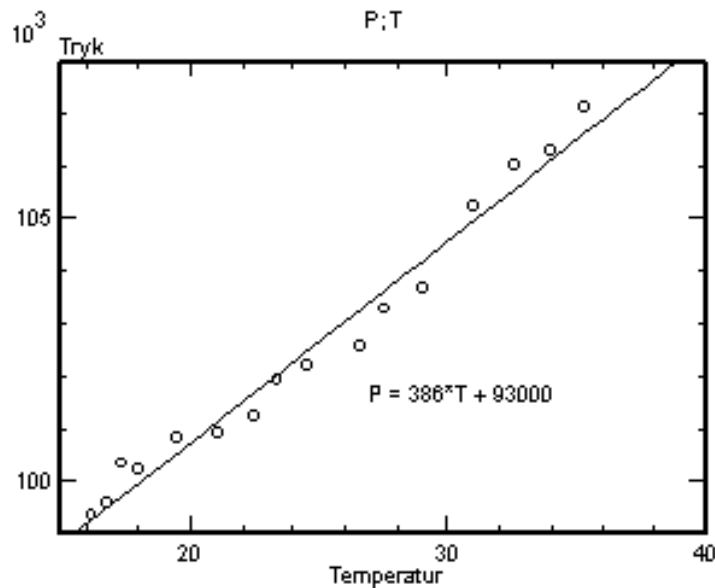
Nu kan vi indsætte det fundne udtryk i ligning (2)

$$P_0 + \rho gh = \left(\frac{1}{V} N K_B\right) T \quad (5)$$

Figur (2) adskiller sig fra (1), ved at vi har plottet højde-måleresultaterne indsat i venstre side i ligning (5) som funktion af temperaturmåleresultaterne. Bedste rette linie er indtegnet.

På figur (2) kan vi også aflæse hældningen på grafen til at være 386 . Det betyder, at trykket øges med 386 N/m^2 for hver grad gassen stiger i temperatur. Ligeledes kan vi aflæse trykket ved 0°C til at være 93000 N/m^2 . Nu kommer så det store spørgsmål: "Hvad er temperaturen når trykket er faldet til 0?". Det prøver vi at regne lidt på

$$P = 0 = 386T + 93000 \Rightarrow T = \frac{-93000}{386} \approx -240^\circ\text{C} \quad (6)$$



Figur 2 Figuren viser trykket som funktion af temperaturen.

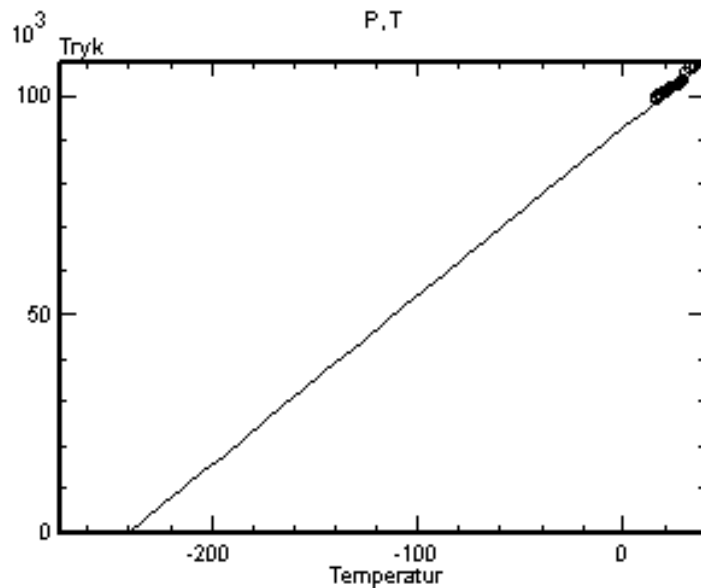
Resultatet fremkommer også grafisk på figur (3). Her ser vi, at figur (2) er udvidet så den når ned til hvor trykket er 0, og hvor vi ser at linien skærer temperaturaksen ved de samme -240.

Konklusion

Vi når således frem til, at det absolutte nulpunkt ligger ved minus 240 grader Celcius. Det lyder jo godt nok koldt, men det er faktisk ikke koldt nok. Den rigtige værdi ligger som bekendt på ca. -273 grader Celcius. Vi vil dog sige, at det er gået nogenlunde, da dette forsøg er et hvor man typisk rammer et godt stykke ved siden af det rigtige resultat.

Usikkerhed og fejlkilder

Forsøget er fyldt med usikkerheder og fejlkilder. En ting som vi fandt ud af var, at det er vigtigt at man ikke opvarmer for hurtigt. Når man justerer vandsøjlen går der et stykke tid før den når ligevægt og står stille så man kan aflæse. Så det er et problem hvis gassen i det tidsrum er blevet varmet yderligere op. Det ses også på målingerne midt i forløbet, hvor vi nok har målt for lave værdier, som der dog bliver kompenseret for i slutningen af



Figur 3 Her vises trykket som funktion af temperaturen. Vi kan se, at når trykket er 0 skærer linien temperaturaksen ved omkring -240 grader celcius, hvilket angiver vores fundne nulpunkt.

forsøget.

Afsluttende bemærkninger

Det som er smart ved dette forsøg er, at det for mange virker mystisk at der eksisterer en 'laveste temperatur'. Denne mystik bliver lidt aflivet her, hvor også samspillet mellem begreberne tryk, volume og temperatur bliver lidt mere håndterbare. Vi synes at det er et godt forsøg fordi det giver folk mulighed for selv at finde ud af noget, som de måske har undret sig over udenfor fysiklokalet.

Elevvejledning

Det absolutte nulpunkt

Ifølge idealgasligningen gælder følgende sammenhæng mellem tryk P volumen V og temperatur T

$$P \cdot V = N \cdot K_B \cdot T$$

hvor N er antal gasmolekyler og $K_B = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$ er Boltzmanns konstant.

Når en given mængde gas (vi anvender bare almindelig luft) opvarmes i et vandbad, vil trykket stige. For at fastholde volumenet kan vi så modsvare trykket ved at hæve vandsøjlen (jf. skitse), og vi kan aflæse på barometeret hvor højt det skulle hæves, og vi får et mål for trykket i beholderen.

I skal nu foretage en måleserie af hvordan trykkes stiger som funktion af temperaturstigningen ved fastholdt volumen. Det er vigtigt at I ikke opvarmer for kraftigt, da det tager lidt tid efter at vandsøjlen er hævet og til den står stille så man kan aflæse. Trykket kan, hvis højden h kendes, udregnes ved følgende formel

$$P = P_0 + (\rho \cdot g \cdot h)$$

hvor $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$ er massetætheden for vand, g er tyngdeaccelerationen og P_0 er lufttrykket ved Jordens overflade, som er 1 atmosfære, eller $1,013 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$.

Plot de målte værdier i en graf (tryk som funktion af temperatur).

Hvad ville temperaturen være hvis trykket blev så lavt som 0?

Skriv en rapport over forsøget og gerne med beskrivende overvejelser og tanker omkring det I har fundet ud af eller undrer jer over.