

Varme og gas - Et læringsforløb i termodynamik

Morten Levinsky Thorsboe

29. maj 2018

Indhold

1	Introduktion	3
2	Formål	4
3	Baggrund	5
4	Elevkompetencer	7
5	Forsøgsvejledninger	8
5.1	Knus en dåse med fysik	9
5.2	Newtons afkølingslov	11
5.3	Varmefylde og fordampningsvarme	13
5.4	Undersøgelse af idealgasligningen	15
6	Litteraturliste	18
7	Appendiks: Rapporterne	19
7.1	Rapport 1: Knus en dåse med fysik	19
7.2	Rapport 2: Newtons afkølingslov	20
7.3	Rapport 3: Varmefylde og fordampningsvarme	24
7.4	Rapport 4: Undersøgelse af idealgasligningen	28

Kapitel 1

Introduktion

I dette eksamensprojekt fremlægger jeg et undervisningsforløb, der har gymnasieklasser, der har fysik på B-niveau, som modtager.

Undervisningsforløbet omhandler forskellige delelementer af termodynamik. Der vil være forsøg, der fokuserer på idealgasligningen, forsøg der undersøger afkøling og igen forsøg, der undersøge fordampningsvarme. Jeg har valgt at udfører fire forskellige forsøg. Tre forsøg, som er målrettet til, at eleverne selv skal udføre dem ud fra de forsøgsbeskrivelser, jeg har fremstillet, og et forsøg, som skal bruges som demonstrationsforsøg.

Inden forsøgene gennemgås præsenterer jeg først formålet med rapporten, lidt teori, som er vigtig for forståelsen og en gennemgang af elevkompetencer.

I appendiks kan rapporterne over de fire forsøg findes.

Kapitel 2

Formål

Formålet med undervisningsforløbet er at give eleverne en forståelse af forskellige aspekter af termodynamikken, samtidig med at de får træning i at opstille forsøg, arbejde med dataopsamling, og analysere den data de opsamler.

Ifølge Undervisningsministeriets vejledning for Fysik B, stx er formålet med faget netop at: *"... udvikle generelle beskrivelser, tolkninger, forklaringer og modeller af fænomener og processer i natur og teknik. Gennem et samspil mellem eksperimenter og teorier udvikles en teoretisk begrundet, naturvidenskabelig indsigt, som stimulerer nysgerrighed og kreativitet"* (2017, Undervisningsministeriet).

Kapitel 3

Baggrund

Thermodynamik eller varmelærer er den del af fysikken, der beskæftiger sig med varme og dets forhold til andre energiformer. Man undersøger, i store træk, termisk varme og dets påvirkninger af systemer. Specielt interesserer man sig for størrelser som: temperatur, tryk og volumen.

En essentiel del af termodynamik er de fire love.

0. lov

Den nulte lov siger at, hvis et legeme A med en temperatur T_A er i kontakt med et andet legeme B , som igen er i kontakt med et tredje legeme C med en temperatur T_C , så er $T_A = T_C$, hvis der er ligevægt.

1. lov

Den første lov forklarer forholdet mellem tilvækst i energi, varme og arbejde for et system $\Delta U = Q + W$. Her er ΔU tilvæksten i indre energi, Q er varmen, der tilføres systemet og W er det arbejde systemet udfører.

2. lov

Den anden lov omhandler entropi (Hvilket muligvis er et for svært koncept at undervise i på fysik B-niveau). Loven foreskriver: $\Delta S = \frac{Q}{T}$. Her er S entropien, Q er igen den tilførte varme og T er den absolutte temperatur. Entropien i et lukket system kan kun vokse eller være uændret. Den kan aldrig blive mindre.

3. lov

Den tredje lov omhandler det absolutte nulpunkt. Altså den temperatur hvor alle molekyler og atomer er i deres grundtilstand. Temperaturen er $-273^{\circ}C$ eller $0K$ (Fysikleksikon, 2018)

Kapitel 4

Elevkompetencer

Da undervisningsforsøget er henvendt til elever, der har fysik på B-niveau eller højere, burde man kunne forvente, at de har en grundlæggende idé om, hvad fysik er, og hvordan man arbejder med den naturvidenskabelige metode. Desuden forventes det, at de kan udføre basale algebraiske manipulationer og er i stand til at benytte LoggerPro eller lignende til at opsamle og analysere data fra forsøgene.

Kapitel 5

Forsøgsvejledninger

I dette kapitel vil jeg præsentere de forsøg, som jeg har valgt skal være en del af undervisningsforløbet.

Jeg har tænkt mig at starte med forsøget: 'Knus en dåse med fysik', da det er et demonstrationsforsøg, der kan vække interesse for termodynamik.

Herefter vil eleverne skulle undersøge Newtons afkølingslov, for at blive bedre bekendt med temperatur og LoggerPro. Dette bliver efterfulgt af forsøget med varmfylde og fordampning, for at eleverne bliver bekendt med relationer mellem varme og energi. Til sidst skal eleverne undersøge idealgasloven, da det forbinder de foregående forsøg godt, men samtidig kræver lidt mere erfaring at udføre.

Dermed mener jeg, at der er sikrede progression gennem forløbet.

5.1 Knus en dåse med fysik

Dette forsøg er et demonstrationsforsøg, og derfor er vejledningen ikke skrevet til elever men til undervisere.

Formål

Formålet med forsøget er at vise at luften har et tryk, samtidigt med at det er en god 'teaser' til både temperatur, fordampningsvarme og tryk, som eleverne selv skal arbejde med i de andre forsøg.

Teori

Teorien, der ligger til grund for forsøget, er relativ simpel. Vandet i dåsen varmes op og fordamper, når dåsen herefter bliver hurtigt nedkølet, vil trykket falde betydeligt i dåsen, da vanddampen vil fortættes igen. Derfor vil dåsen kollapse.

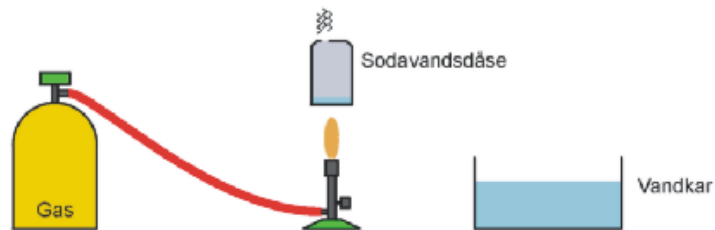
Apperatur

- Tom sodavandsdåse
- Bunsenbrænder
- Koldt vandbad

Udførelse

I den tomme sodavandsdåse hæles 1-2 cl vand. Dåsen holdes nu over gassen, så vandet begynder at koge. Når der kommer vanddamp op ad dåsen skal den lynhurtigt puttes helt ned i beholderen med vand. Nu burde dåsen krølle sammen.

Pas på! Dåsen bliver meget varm.



Figur 5.1: Diagram af forsøgsopstillingen. (Fysikbasen 2018)

Diskussion med klassen

Nu burde forsøget meget gerne kunne starte en diskussion i klassen. Hvorfor krøller dåsen sammen?

Dette forsøg kan hurtigt lede til en diskussion af lufts tryk, men også om fordampning og fortætning af vanddamp. Denne diskussion skal så kunne lede frem til teori om eksempelvis idealgasligningen eller fordampning, som eleverne skal bruge i de andre forsøg i undervisningsforløbet.

5.2 Newtons afkølingslov

Formål

Formålet med dette forsøg er, at undersøge Newtons afkølingslov, for at få en forståelse af hvordan et varmt legeme afkøles.

Teori

Hvis et legeme er varmere end omgivelserne, vil det køles ned som funktion af tiden. Det viser sig at ændringen i et legemes temperatur er proportionel med temperaturforskellen mellem legemet og omgivelserne. Det kaldes Newtons afkølingslov.

$$P = k \frac{A}{h} (T_2 - T_1)$$

Her er P effekten eller afgivne varme per sekund, A er arealet af legemet, h er tykkelsen, k er varmeledningsevnen, T_2 er legemets temperatur og T_1 er omgivelsernes temperatur.

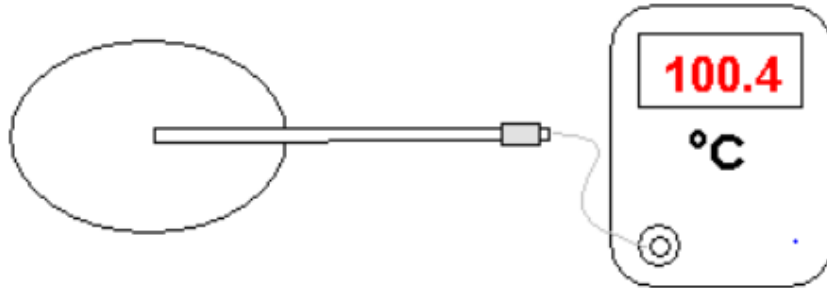
Den generelle løsning til denne sammenhæng vil give en eksponentielt fallende temperatur, hvilket vi vil undersøge eksperimentielt.

Apperatur

- Et hårkogt æg med skal
- Digital temperaturmåler
- Computer med LoggerPro
- Elkedel eller gryde

Udførelse

Bring det medbragte æg i kog og lad det koge i 10 min., så der er samme temperatur igennem hele ægget. Placer ægget på bordet og indsæt det digi-



Figur 5.2: Diagram af forsøgsopstillingen. (Nakgym 2018)

tale temperaturmåler ind i midten af ægget.

Sæt herefter LoggerPro til at måle temperaturen hvert minut i 30 minutter, får at se afkølingen.

Databehandling

Ud fra de målte data kan man nu lave en eller flere regressioner.

Hvilken regression passer bedst? Stemmer resultaterne overens med teorien?

Husk at notere fejlkilder og usikkerheder. Find eventuelt foreskriften for dataen analytisk. Brug at den generelle løsning til: $y' = c(y - T_1)$ er $y = T_1 + c_1 e^{ct}$

5.3 Varmefylde og fordampningsvarme

Formål

Formålet med forsøget er at finde varmfylde og fordampningsvarmen af vand.

Teori

Varmefylde (eller varmekapacitet) er et mål for hvor meget energi, der skal til at varme et stof op. Sammenhængen er givet ved:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Her er ΔQ ændringen i varmeenergi, ΔT er ændringen i temperatur, og C er varmfylde.

Hvis man varmer vand op med en effekt P så vil energien gå til opvarmning af vandet, hvis man altså ser bort for tab. Her vil det gælde at:

$$P\Delta t = m_{vand}c\Delta T$$

Her er P den tilførte energi per tid, Δt er tiden, m_{vand} er massen af vandet, og c er nu den specifikke varmfylde, da vi finder den for m_{vand} .

Ligesom for varmfylde gælder der en lignende lov om fordampningsvarme:

$$P\Delta t = \Delta m_{vand}L_f$$

Her er Δm_{vand} den fordampede masse og L_f er fordampningsvarmen.

Apparatur

- Elkedel
- Computer med LoggerPro
- Digitalt termometer
- Vægt

Udførelse

Start med at fylde ca. en liter vand i en elkedel og mål så vægten af vandet og kedelen. Forbind nu termometeret til Loggerpro og indstil programmet til at foretage en måling hvert 10 sekund i 10 minutter. Placer termometeret i elkedlen og tag låget af.

Sæt forsøget i gang.

Når vandet koger, så lad vandet koge videre (Hold knappen nede).

Når tiden er gået, så vej elkedel og vand igen.

Databehandling

Når du har foretaget forsøget skulle dine data meget gerne vise et linjestykke hvor temperaturen vokser lineært. Det kunne eksempelvis være mellem stuetemperatur og 85 grader celsius. Udfør her en lineær regression og forklar hvad de forskellige parametre betyder.

Ud fra hvor lang tid det har taget at varme vandet op, kan du nu finde den tilførte energi og varmfylden.

Find den procentvise-afvigelse i forhold til tabelværdien $c = 4180 \frac{J}{kgK}$

Nu skal du se på den sidste del af grafen og udregne L_f

Find igen den procentvise-afvigelse fra tabelværdien $2,26 \cdot 10^6 \frac{kJ}{kg}$

5.4 Undersøgelse af idealgasligningen

Formål

Formålet med forsøget er at undersøge idealgasloven, når man holder henholdsvis volumen og temperaturen konstant.

Teori

Idealgasligningen beskriver sammenhængen mellem tryk, volumen og temperatur. Loven findes i to udgaver:

$$pV = Nk_B T \text{ og } pV = nRT$$

Her er p trykket, V er volumen, T temperaturen, N er antal molekyler, k_B er Boltzmanns konstant, n er molekyleantal per mol og R er gaskonstanten. Der er tale om en ligning, der gælder for en idealgas. Det vil sige en gas, hvor de enkelte molekyler ikke interagerer med hinanden. Sådanne gasser findes næppe i virkeligheden, men loven fungerer som en god approksimation for mange forskellige fænomener, som vi vil undersøge med dette forsøg.

Apperatur

- Kolbe med prop
- Sprøjte med slange
- Elkedel
- Digital temperaturmåler
- Digital trykmåler
- Computer med LoggerPro

Udførelse

Start med at se på hvordan trykket ændre sig med konstant volumen og stigende temperatur.

Forbind termometeret og trykmåleren til LoggerPro. Forbind trykmåleren og termometeret til kolben. (Proppen skal lukke helt tæt!)

Fyld elkedlen med vand og placer kolben i kedlen. Vent til temperaturen har indstillet sig og tænd så for kedlen, samtidig med at du starter LoggerPros dataopsamling. Husk at indstille tiden og antal prøver per sekund.

Nu skal du undersøge hvordan trykket ændre sig ved en volumen formindskelse ved konstant temperatur.

Placer din kolbe i et vandbad og mål temperaturen. Forbind trykmåleren til kolben og forbind samtidigt en sprøjte. Start nu dataopsamlingen og varier så volumet, ved at trykke på sprøjten. Husk at aflæse volumet af sprøjten og kolben.

Databehandling

Første forsøg

Vis trykket som funktion af temperaturen og lav en lineær regression. Hvad betyder regressionen?

Find det absolutte nulpunkt og find den procentvise afvigelse fra tabelværdien $-273^{\circ}C$.

Kommentér eventuelle fejlkilder. F.eks. kan det have haft en betydning, hvis systemet ikke var helt tæt eller hvis systemet i var i termisk ligevægt.

Andet forsøg

Tegn ud fra dine data en $(\frac{1}{p}, V)$ og find et passende sted at lave en lineær regression.

Er dine målinger i overensstemmelse med idealgasloven?

Diskutér eventuelle fejlkilders effekt på forsøget.

Kapitel 6

Litteraturliste

Fysikbasen 2018

<http://fysikbasen.dk/index.php>

Fysikleksikon, 2018

<http://fysikleksikon.nbi.ku.dk/t/termodynamik/>

Nakgym 2018

http://www.nakgym.dk/fysik/la/termodynamik_wbmappe/afkoeling_aeg.htm

Undervisningsministeriet, 2017

<https://www.uvm.dk/gymnasiale-uddannelser/fag-og-laereplaner/laereplaner-2017/stx-laereplaner-2017>

Kapitel 7

Appendiks: Rapporterne

7.1 Rapport 1: Knus en dåse med fysik

Da dette forsøg er et demonstrationsforsøg, har jeg ikke skrevet en rapport, da det ikke rigtig giver mening, da der ikke er noget data at arbejde med. Det skal dog nævnes, at forsøget ikke virkede hver gang jeg prøvede det. Det er specielt vigtigt at alt vandet i dåsen er fordampet, og at vandbadet er koldt nok.

7.2 Rapport 2: Newtons afkølingslov

Formål

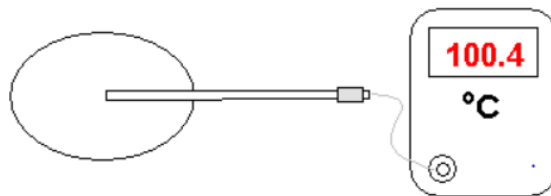
Formålet med dette forsøg er, at undersøge hvordan afkøling af et objekt sker over tid.

Teori

Når et objekt har en temperatur, der er højere end dets omgivelser, vil objektet langsomt afgive sin varme til omgivelserne. Denne afgivelse afhænger af objektets temperatur og geometri, men da objektets temperatur hele tiden ændre sig, er der tale om en differentialligning på formen $y' = c(y - y_0)$. Denne ligning bliver i det tilfælde man taler om afkøling til Newtons afkølingslov.

Fremgangsmåde

Jeg har medbragt et hårdkogt æg hjemmefra, som jeg bringer i kog i ca. 10 minutter, for at sikre mig at ægget har samme temperatur hele vejen igennem. Nu kan jeg indsætte et digital termometer i midten af ægget og starte dataopsamlingen med LoggerPro, som vist på billede. Dette tager ca.

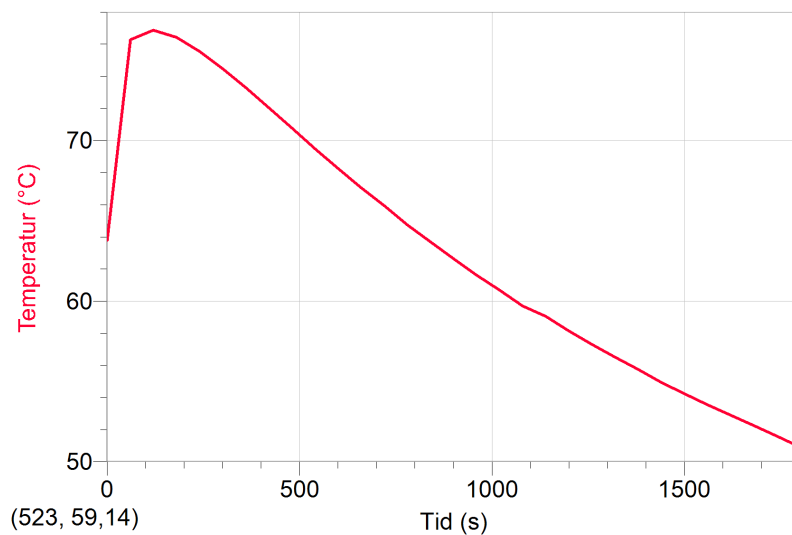


Figur 7.1: Diagram af forsøgsopstillingen. (Nakgym 2018)

30 minutter, hvorefter vi er klar til at undersøge vores data.

Data

På grafen herunder ses de målte data. Som man kan se er der et hak op ad



Figur 7.2: Graf af temperaturen i ægget over tid.

til at starte med. Det skyldes højst sandsynligt at termometeret ikke havde indstillet sig ordentligt inden målingen begyndte.

Nu kan vi forsøge at finde forskriften for ligningen, ved at bruge vores data eller vi kan få LoggerPro til at fitte en eksponentielfunktion til dataen.

Databehandling

Jeg vælger først at finde forskriften analytisk. Stuetemperaturen målte jeg til: $26,6^{\circ}C$ Ligningen ser vi sådan ud:

$$y' = cy - 26,2c$$

Den fuldstændige løsning er:

$$y = 26,6 + c_1 e^{ct}$$

Når $t = 0$ kan vi finde c_1 , da vi kan afløse temperaturen fra vores data:

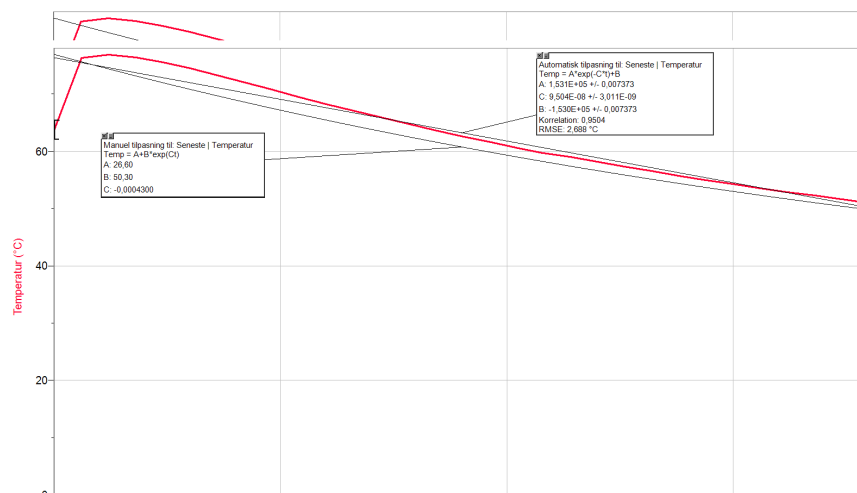
$$76,9 = 26,2 + c_1 c_1 = 76,9 - 26,6 = 50,3$$

Vi kan også finde c , da vi kender en temperatur til et andet tidspunkt.

Eksempelvis ved $t = 1080 \text{ sek}$ hvor $T = 58,2^\circ \text{C}$. Så:

$$58,2 = 26,6 + 50,3 \cdot e^{c \cdot 1080} \ln\left(\frac{58,2 - 26,6}{50,3}\right) = c = -0,00043$$

Denne funktion kan vi nu tegne og så om den stemmer overens med vores data:



Figur 7.3: Graf af temperaturen i ægget over tid, den fittede funktion og den analytisk udregnede forskrift.

Diskussion

Som man kan se på figur 7.3 passer den udregnede forskrift relativt godt til de målte data. Det er i hverfald den rigtige form, selvom kurven er lidt forskudt. På figuren kan man også se LoggerPros bud på en fittet eksponentialfunktion. Da man kan se at funktionen, som jeg har fundet analytisk passer fint med data, kan jeg konkludere at teorien passer med data. Af eventuelle fejlkilder skal nævnes termometrets følsomhed og kalibrering, som kan give en usikkerhed på målingerne. Desuden kan det være, at temperaturen ikke

har været helt ensartet ud igennem ægget, hvilket igen kan have påvirket resultatet.

7.3 Rapport 3: Varmefylde og fordampningsvarme

Formål

Formålet med forsøget var at finde varmfylde og fordampningsvarmen af vand.

Teori

I forsøget skal vi først se på varmfylde af vand. Her er sammenhængen givet ved:

$$P\Delta t = m_{\text{vand}}c\Delta T$$

Hvor P er effekten, Δt er tiden, m_{vand} er massen af vandet, og c er den specifikke varmfylde for vand.

Ligesom for varmfylde gælder der en lignende lov om fordampningsvarme:

$$P\Delta t = \Delta m_{\text{vand}}L_f$$

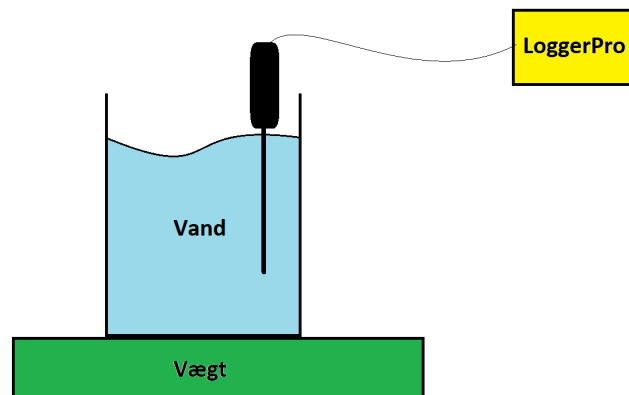
Her er Δm_{vand} den fordampede masse og L_f er fordampningsvarmen.

Som et led i forsøget skal jeg forsøge at finde det absolutte nulpunkt. Altså den temperatur, hvor alt er i sin grundtilstand, da der ikke er nogle termiske fluktuationer. Temperaturen er:

-273°C eller 0K .

Fremgangsmåde

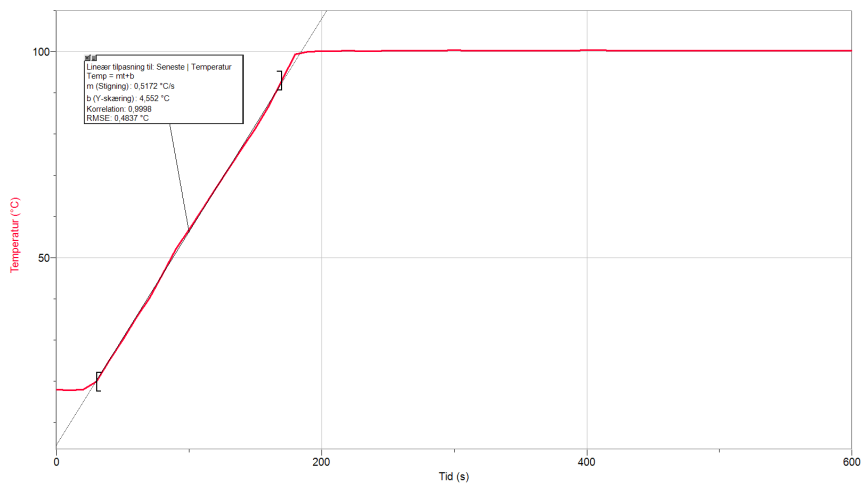
Jeg startede med at veje elkedel og dernæst fylde omkring en liter vand på, for igen at veje nu både kedel og vand. Med det noteret forbandt jeg termometeret til LoggerPro og satte målingen i gang, samtidig med at jeg tændte for elkedlen. Forsøgsopstillingen kan ses på figur 7.4. Da termometeret viste 100°C sikrede jeg mig, at elkedlen fortsatte med at levere energi til vandet, ved at holde knappen nede, indtil min måling sluttede. Efter sidste måling vejede jeg igen kedlen og noterede mig vægten.



Figur 7.4: Skitse over forsøgsopstillingen

Data

På figur 7.5 kan man se resultaterne af forsøget. Som man kan se stiger tem-



Figur 7.5: Temperaturmålingerne fra forsøget mod tiden.

peraturen lineært til at starte med indtil kogepunktet, hvor temperaturen ligger stille.

Disse masser blev noteret:

Vægt af kedel+vand start: 1510 g

Vægt af kedel+ vand slut: 1091 g

Vægt af kedel: 563 g

Databehandling

Som man kan se på figur 7.5 får jeg ved lineær regression forskriften: $T = 0,52 \frac{^{\circ}C}{s} \cdot t + 4,6^{\circ}C$ Her er $0,52 \frac{^{\circ}C}{s}$ stigningen i temperatur per sekund og $4,6^{\circ}C$ er den starttemperatur vi vil have fundet, hvis vi gik 'bagud' i tiden.

Nu kan jeg finde den energi vandet er fået tilført. Elkedlen leverede $2000W$ til vandet, så energien er:

$$P\Delta t = \Delta E = 2000W \cdot 140s = 280000J$$

Nu kan jeg finde c :

$$c = \frac{\Delta E}{m\Delta T}$$

$$c = \frac{280000J}{(1,510kg + 0,563kg)(93,0^{\circ}C - 19,9^{\circ}C)}$$

$$c = 4045 \frac{J}{kgK}$$

Procentvis-afvigelse: 3,2 procent.

Nu er det tid til at finde fordampningsvarmen.

$$L_f = \frac{\Delta E}{\Delta m_{vand}}$$

$$L_f = \frac{2000W \cdot 410s}{1,510kg + 1,091kg}$$

$$L_f = 1957041 \frac{kJ}{kg}$$

Procentvis-afvigelse: 13,4 procent.

Diskussion

Man kan diskutere, hvor godt forsøget lykkedes. Jeg fandt en varmekapacitet, der næste svarer til tabelværdien, hvilket må siges at være fint. Dog er den fordampningsvarme jeg har fundet langt lavere end tabelværdien. Det kan umiddelbart virke underligt, da man normalt ville forestille sig at elkedel

ikke leverede helt lige så meget energi, som påtrykt, men resultatet tyder på det modsatte. Dog kan visse fejkilde måske gøre rede for en del af fejlen. For det første kan der være usikkerheder på vægten, som kunne spille ind. For det andet boblede noget af vandet ud over kedlen, hvilket kan forklare noget af vægttabet. Det skal også noteres, at jeg ikke brugte demineraliserede vand, hvilket selvfølgelig har givet urenheder i vandet i form af forskellige metaller, som kan have haft indvirkning på resultatet.

7.4 Rapport 4: Undersøgelse af idealgasligningen

Formål

Formålet med forsøget er at undersøge idealgasligningen.

Teori

Forsøget er delt op i to delforsøg. I det første delforsøg skal vi undersøge idealgasligning med konstant volumen og i det andet delforsøg skal vi undersøge idealgasligningen ved konstant temperatur. Men faktisk holder vi antallet af molekyler konstant ved begge forsøg og derfor kan vi lave en lille omskrivning i hvert tilfælde:

$$pV = Nk_B T$$

$$p = \frac{nk_B T}{V}$$

Eller, hvis vi ser på konstant volumen:

$$p = cT$$

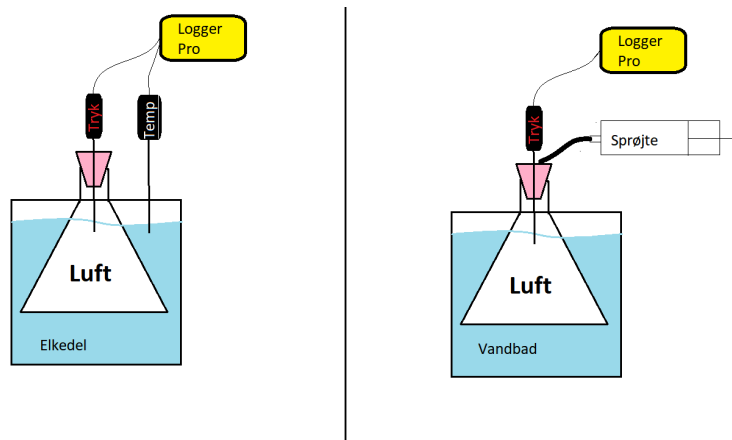
, hvor c er en konstant. Denne sammenhæng kaldes Guy Lussacs lov. Ligeledes kan vi se på konstant T , hvorved idealgasligningen kan skrives som:

$$p = c \frac{1}{V}$$

Denne sammenhæng kaldes Mariottes lov. Dem kan vi nu undersøge.

Fremgangsmåde

I første delforsøg skulle vi holde volumet konstant, så vi tager en kolbe og sætter en prop godt fast. Herefter sætter vi trykmåleren til kolben og tilslutter LoggerPro. Nu placeres kolben i en elkedel med vand og et termometer, der også forbindes LoggerPro. Man sikre sig at kolben er godt nede i vandet. Nu kan forsøget startes, så elkedlen tændes og dataopsamling i LoggerPro startes. Forsøgsopstillingerne til begge delforsøg kan ses på figur 7.6. Efter første delforsøg tilsluttes nu en slange med en sprøjte til kolben, og den placeres i et vandbad, så temperaturen holdes konstant. LoggerPro startes og

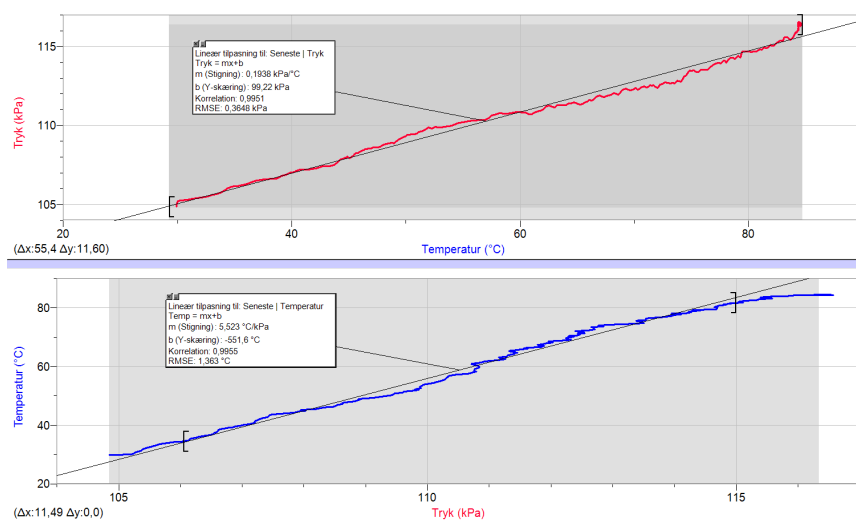


Figur 7.6: Skitse over forsøgsopstillingen

volumet kan nu ændres med sprøjten.

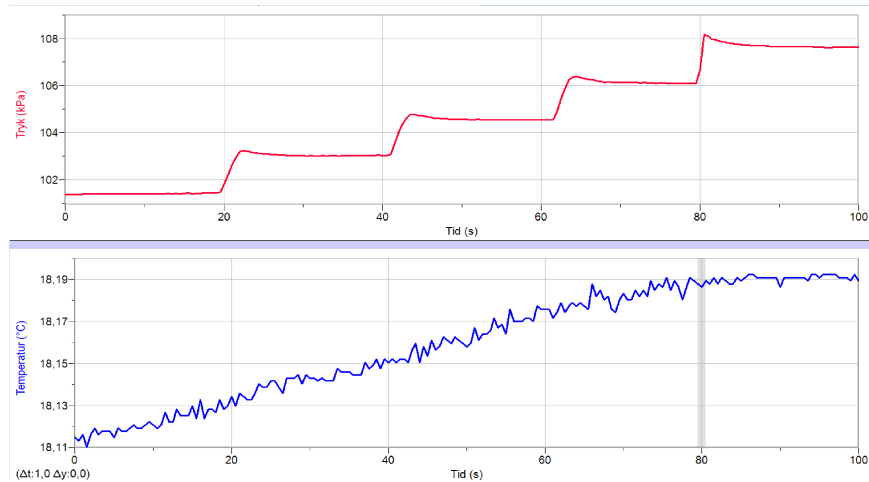
Data

Herunder ses data fra de to delforsøg. På figur 7.7 kan man se resultaterne fra forsøget med konstant volumen. På figur 7.8 kan man se resultaterne fra



Figur 7.7: Data fra forsøg om Guy Lussacs lov.

forsøget med konstant T . I dette forsøg brugte vi en kolbe på 305 ml og en sprøjte på 20 ml.



Figur 7.8: Data fra forsøg om Mariottes lov.

Databehandling og diskussion

Første forsøg

På figur 7.7 kan man se data med en fittet lineær regression. Denne regression kan jeg bruge til at give et estimat af det absolutte nulpunkt. Jeg sætter blot $p = 0$ for at finde den lavest mulige T , i den øverste af de regressioner jeg har fundet.

$$0 = 0,194 \frac{kPa}{^\circ C} T + 99,2 kPa$$

$$\frac{-99,2 kPa}{0,194 \frac{kPa}{^\circ C}} = T$$

$T = -511,3^\circ C$ Dette tal er langt fra det absolutte nulpunkt. Den procentvise-afvigelse er: 87,3 procent

Dette peger på, at der må være nogen fejlkilder ved forsøget. For det første kan det være at jeg har varmet vandet for hurtigt og at kolben ikke har indstillet sig temperaturen. For det andet kan flasken have været utæt, og derfor vil antallet af molekyler være ændret, da gas udvider sig, når det

bliver varmet op. Desuden vil der altid være en fejlmargen på måleudstyret, men slet ikke nok til at forklarer resultatet, som ud over at opfører sig lidt mærkeligt, stadig ser ud til at være nogenlunde lineært ligesom teorien foreskriver.

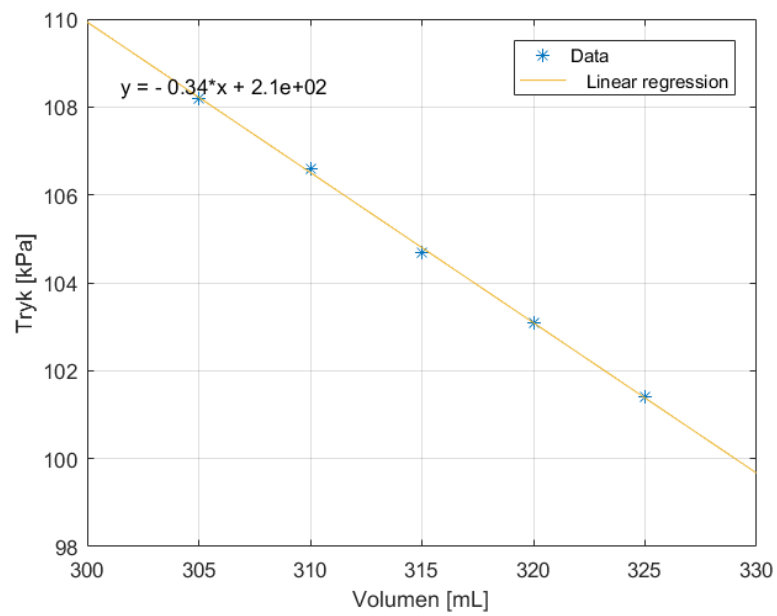
Andet forsøg

På figur 7.8 kan man se data fra mine målinger. Jeg valgte at ændre volumet i ryk, men burde også have gjort det glidende, så jeg kunne have set en lineær-sammenhæng, som jeg kunne have fittet. Dog vil jeg kunne teste om Mariottes lov holder, ved at se på ændringerne i volumet og det målte tryk. Mariottes lov siger:

$$p = c \frac{1}{V}$$

Så en negativ ændring i V må give en positiv ændring i p , hvilket bør være lineært. Dette kan ses på figur 7.9.

Ligesom tilfældet var med det første delforsøg kan der være et problem, hvis kolben ikke er helt tæt. Dette burde dog ikke være et problem ved dette forsøg, da jeg skriftede til en kolbe, der var designet specielt til forsøget. Desuden negligerer jeg volumet i slangen fra sprøjten til kolben, men da det reelt set kun er ændringen i volumet, vi er interesserede i, betyder det ikke det helt store. Temperaturen burde være holdt konstant, men det vil nok altid være fluktuationer, som kan have en lille indvirkning på resultatet. Til sidst vil diverse usikkerheder på måleudstyret give en lille usikkerhed på dataen.



Figur 7.9: Data fra forsøg om Mariottes lov med en lineær regression.