

FUF synopsis

Jogvan og Stine

Efteråret 2001

Indhold

1	Indledning	1
2	Tilrettelæggelse - overvejelser	3
2.1	Målgruppe	3
2.2	Overvejelser over formidlingen	3
2.3	Overvejelser af elevvejledninger	4
2.4	Plan over forløbet	4
2.5	Generel teori	5
2.5.1	Symbolliste	6
2.5.2	Fysiske konstanter	6
2.5.3	Fysiske relationer	6
3	Elevvejledninger	7
3.1	Is i vand	7
3.2	Vands specifikke varmekapacitet	8
3.3	Vands fordampningsvarme	9
3.4	Det absolutte nulpunkt	10
3.5	Nyttevirkning af en glødelampe	11
4	Rapporter	13
4.1	Is i vand	14
4.2	Vands specifikke varmekapacitet	18
4.3	Vands fordampningsvarme	22
4.4	Det absolutte nulpunkt	27
4.5	Nyttevirkning af en glødelampe	32

1 Indledning

Dette er en synopsis, der er udarbejdet i forbindelse med kurset **Fysiske Undervisnings Forsøg** - til dagligt benævnt ved akronymet **FUF** - på RUC.

Vi vil i denne synopsis tilrettelægge et undervisningsforløb der har til hensigt at give eleverne en forståelse af nogle af de grundlæggende begreber fra termodynamikken, såsom *varme* og *temperatur* - to begreber som kan være svære at skelne.

Der indgår ialt fem forsøg hvoraf de tre første har til formål at give eleverne en forståelse af varme som indre energi. Det koster energi at varme vandet op. Det koster også energi at smelte is og fordampe vand, selv om temperaturen ikke stiger. Det fjerde forsøg omhandler det absolutte nulpunkt og giver en fornemmelse af at der findes en minimum temperatur. Det femte og sidste forsøg har ikke til formål at illustrere et begreb fra varmelæren, men er et eksempel på hvordan man til andre formål kan bruge varmelæren som redskab.

De valgte forsøg er nemme at udføre, og målingerne er umiddelbare og intuitive. De fleste kan forholde sig til koldt/varmt bedre end f.eks. retning af et magnetflet. Det skulle være med til at eleverne ikke drukner i abstrakte teorier når de udfører forsøgene, men kan følge med i hvad der egentlig sker.

2 Tilrettelæggelse - overvejelser

2.1 Målgruppe

Dette undervisningsforløb henvender sig til et niveau svarende til 1. eller 2.g i gymnasiet. Det vil nok være for meget med fem elevøvelser indenfor samme emne i 1.g, men til gengæld stilles der ikke de store krav til den faglige formåen. Det kunne tænkes at være et godt emne at indlede gymnasieundervisningen med. Det afgørende førstehåndsindtryk ville være mindre skræmmende, og eleverne ville have en succesoplevelse at stå imod med, når sværere emner introduceres. Vi forudsætter ikke de store matematikkundskaber, men et overfladisk kendskab til F-pro vil være en fordel.

2.2 Overvejelser over formidlingen

Begreberne *varme* og *temperatur* bliver ofte brugt i flæng. Det som vi vil forsøge at formidle til eleverne er netop denne forskel. Vi har valgt nogle typiske forsøg, der direkte underbygger disse begreber. Her tænkes på de tre første forsøg, hvoraf det første viser noget om latent varme - is' smeltevarme. I det andet forsøg undersøges vands varmekapacitet og i det tredje vands fordampningsvarme, som igen er noget med latent varme. Dette skulle vise, at man ved at tilføre varmeenergi til et system under visse omstændigheder får en temperaturstigning, og under andre omstændigheder får en faseovergang. Vi har lagt vægt på at forsøgene skal være så enkle som muligt, både hvad angår opstilling og hvad vi måler på. Alle kender til is der smelter og vand der koger.

Det fjerde forsøg vi har valgt, er et hvor man ved hjælp af idealgasligningen kan finde det absolutte nulpunkt for temperatur. Dette forsøg har vi valgt som et ekstrarforsøg der viser at temperatur har et minimum. Det kræver at eleverne er blevet undervist i idealgasligningen - at energien i en gas kun afhænger af temperaturen. Vi har valgt dette forsøg fordi vi mener at det ikke er intuitivt klart for almindelige mennesker, at temperatur har et absolut

minimum, og at det derfor ville opklare temperaturbegrebet en smule. I det femte og sidste forsøg har vi valgt at gå efter en helt anden bold. Her findes nyttevirkningen af en glødelampe og forsøget har til hensigt at vise en mulig *anvendelse* af den tillærte teori.

2.3 Overvejelser af elevvejledninger

Vi har lagt vægt på at eleverne selv skal kunne udtænke og opstille forsøgene så de ikke bare blindt følger en af læreren udfærdiget 'bageopskrift'. Dette kræver dog at forsøgene ikke er alt for udviklede af natur og derfor er forsøget om *Det absolutte nulpunkt* beskrevet i større detalje og selve opstillingen tænkes opsat på forhånd.

At eleverne selv skal være med til at udtænke forsøgene kræver nok en del af dem, alene det uvante i situationen. Men når det så lykkedes vil det give dem ti-fold mere, end et standard 'bageopskrift'-forsøg kunne have gjort. Forhåbentlig er det også med til at give dem fysisk intuition, fornemmelse af naturvidenskabelig metode og lære dem at stille skarpt på hvilke størrelser der er relevante og målelige.

2.4 Plan over forløbet

Grunden til at vi har valgt **Is i vand** som det første forsøg er, at det er velegnet til gruppeforberedelse og samtidig er spændende. Det er meningen at eleverne (med hjælp fra elevvejledninger) skal udtænke og planlægge forsøget i små grupper. Dette vil give dem en fornemmelse af hvordan man selv opstiller en forsøgsmetode og ruste dem til også at kunne gøre det i mere udviklede øvelser. Det efterfølgende forsøg **Vands specifikke varmekapacitet**, som nok er det letteste af dem alle, har vi ikke valgt som det første netop fordi det er lidt kedeligt at begynde med. Vi mener det er velegnet som forsøg nummer to også fordi spørgsmålet om vand specifikke varmekapacitet opstår i det første forsøg. En måde først at gøre dem nysgerrige og vække en undren for derefter selv at få lov til at finde svaret. Det tredje forsøg **Vands fordampningsvarme** ligger i umiddelbar forlængelse heraf. At vand igen har en faseovergang, der i princippet opfører sig, som når is smelter. Disse tre forsøg mener vi hænger godt sammen. De er ikke komplicerede og bygger på den samme teori. At få lov til at bruge den samme teori med forskellige tilgangsvinkler vil få den til at forankre sig bedre i elevernes bevidsthed.

2.5 Generel teori

I dette afsnit præsenteres kort de formler, som er nødvendige for at forstå forsøgene.

Når man tilfører et system varme-energi (og der ikke sker nogen faseovergang) stiger temperaturen afhængigt af massen m , og afhængigt af den specifikke varmekapacitet c .

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T = m \cdot c \cdot (T_{\text{slut}} - T_{\text{begynd}}) \quad (2.1)$$

Under en faseovergang (som når is smelter til vand eller når flydende vand fordamper til vanddamp) stiger temperaturen ikke før faseovergangen er fuldblyrdet. Her går energien til selve faseovergangen L i stedet for til temperaturstigning

$$Q = m \cdot L \quad (2.2)$$

For en idealgas gælder, at energien kun afhænger af temperaturen. (En gas der er tilstrækkelig tynd så hele den indre energi består af molekylernes bevægelse og ikke potentiel energi som følge af molekylernes vekselvirkninger)

$$P \cdot V = N \cdot K_B \cdot T \quad (2.3)$$

Hvis man for eksempel har en søjle vand her på Jorden (hvor der er en tyngdekraft), afhænger trykket et givet sted i søjlen af mængden af vand der er ovenover

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot h \cdot \cancel{A} \cdot g}{\cancel{A}} = \rho \cdot h \cdot g \quad (2.4)$$

Ved elektrisk energi er effekten P (energi pr tidsenhed) givet ved spændingsfaldet U gange strømstyrken I

$$P = U \cdot I \quad (2.5)$$

Varmelærens 1. hovedsætning siger, at energi er en bevaret størrelse.

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta A \quad (2.6)$$

Den samlede tilførte energi ΔE er lig den forøgede indre energi ΔQ plus det arbejde der er udført på systemet ΔA .

2.5.1 Symbolliste

E	= Energi	$[J]$
Q	= Varme-energi	$[J]$
T	= Temperatur	$[K]$ eller $[^{\circ}C]$
L	= Latent-varmeenergi	$[J/kg]$
c	= Specifik varmekapacitet	$[J/K \cdot kg]$
P	= Effekt	$[W] = [J/s]$
U	= Spænding	$[V]$
I	= Strøm	$[A]$
P	= Tryk	$[N/m^2]$
N	= Antal partikler	
ρ	= Massefylde	$[kg/m^3]$
m	= masse	$[kg]$
V	= Volume	$[m^3]$

2.5.2 Fysiske konstanter

g	= Tyngdeaccelerationen	$9,82 m/s^2$
K_B	= Boltzmanns-konstant	$1,381 \cdot 10^{-23} J/K$
c	= Vands varmekapacitet	$4,185 \cdot 10^3 J/K \cdot kg$
L_s	= Vands smeltevarme	$3,34 \cdot 10^5 J/K \cdot kg$
L_f	= Vands fordampningsvarme	$2,26 \cdot 10^6 J/K \cdot kg$
P_0	= 1 atmosfære	$1,013 \cdot 10^5 N/m^2$
ρ	= Vands massefylde	$1,000 \cdot 10^3 kg/m^3$

2.5.3 Fysiske relationer

$$X \text{ Kelvin} = Y^{\circ} \text{ Celcius} + 273,15$$

3 Elevvejledninger

3.1 Is i vand

Når man kommer en klump is i et glas vand, smelter den hvorved vandet bliver koldere. Denne øvelse går ud på at finde en procedure der gør det muligt at finde frem til vandets sluttemperatur - altså efter at isen er smeltet. Ved hjælp af et flamingokrus, en vægt, et termometer samt adgang til vand og is skal I udtænke eksperimentet.

Overvej hvilke faktorer der er afgørende for eksperimentet.

Hvilke faktorer kan måles og hvilke kan ikke?

Forsøg at formulere sammenhængen mellem de faktorer der kan måles og dem der er interessante.

Udfør eksperimentet. Overvej om det er nok at lave et enkelt eksperiment.

Behandl de målte data og vurder om de fundne værdier er realistiske.

Skriv en rapport over forsøget og husk navn.

3.2 Vands specifikke varmekapacitet

Formålet med denne øvelse er at finde vands specifikke varmekapacitet - hvor meget stiger en given mængde vands temperatur, når en kendt mængde varme-energi tilføres.

Fyld et flamingokrus halvt op med vand. Temperaturen skal være lidt under rumtemperatur. Derefter skal I varme vandet op ved at sænke et varmelegeme ned i vandet. For hvert minut måles temperaturen. Forsøget fortsætter i 10 minutter, eller når I har opnået en temperaturstigning på mindst 10 grader. Varmelegemet består af en glødelampe der er indpakket i stanniol så lyset ikke slipper ud. (Hvorfor er det et godt varmelegeme?) I skal også måle strømstyrken der går gennem pæren, samt spændingsfaldet hen over den.

Plot temperaturen som funktion af tiden og brug dette sammen med pærens effekt til at finde vands varmekapacitet.

Skriv en rapport over forsøget.

3.3 Vands fordampningsvarme

I skal forsøge at bestemme vands fordampningsvarme, dvs den mængde energi der skal bruges til at fordampe 1 kg 100°C varmt vand til 100°C varm damp. Øvelsen går i alt sin enkelhed ud på at sætte en kendt mængde vand i kog. Forbind kogeplade, effektmåler og strømforsyning som vist på opstillingsskit-sen. Fyld vand i en gryde og tænd for blusset. Stik et termometer ned i vandet og forbind dette til computeren. Sæt F-Pro til at tage målinger af tempera-turen som funktion af tiden. Kør forsøget ca. 30 min *efter* at kogepunktet er nået. Vej den resterende vandmængde umiddelbart efter at computermålin-gerne er stoppet.

Plot (t, T) -graf i F-Pro og forklar dens forløb. Brug effekten og kogeti-den (tiden fra vandet kogte til forsøget blev stoppet) til at finde den tilførte mængde varme. Sammenholdes den med den fordampede mængde vand kan fordampningsvarmen findes. Sammenlign med tabelværdien. Forklar hvorfor det er smart at lade forsøget et godt stykke tid.

Skriv en rapport over forsøget.

3.4 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 volumen 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.

3.5 Nyttevirkning af en glødelampe

Formålet med denne øvelse er at finde nyttevirkningen af en glødepære, altså hvor meget af den energi som lampen bruger går til lys.

I får følgende remedier til rådighed:

- En strømforsyning
- Et gennemsigtigt plastikkrus
- En ca. 20W glødelampe
- Lidt stanniol
- Termometer
- Voltmeter
- Amperimeter
- Friskt postevand fra hanen

Skriv en rapport over forsøget og kommenter det fundne resultat.

4 Rapporter

Rapporterne skal ikke ses som facit, men som en mulig besvarelse.

4.1 Is i vand

Formål

Vi ønsker at finde en procedure, der kan bruges til at finde sluttemperaturen, efter at en isterning er smeltet i et glas vand.

Metode

Til at begynde med hældte vi en afmålt mængde vand m_{vand} i et flamingokrus, og målte temperaturen T_{begynd} . Derefter tog vi en klump is, tørrede den af (for at fjerne det øverste vandlag) og nedsænkede den i vandet og målte vægtstigningen $m_{vand+is}$. Vi satte et flamingokrus ovenpå som låg for at isolere. Da isen var helt smeltet målte vi atter temperaturen T_{slut} .

Måleresultater

Der blev foretaget 4 sæt målinger som fremgår af nedenstående skema. Vi har angivet målingerne i SI-enheder for hhv. masse i kilogram og temperatur i Kelvin

Måling	m_{vand}/kg	$m_{vand+is}/kg$	T_{begynd}/K	T_{slut}/K
1	0,158	0,203	299	282
2	0,163	0,179	293	286
3	0,184	0,256	305	282
4	0,192	0,219	210	297

Teori

Der skal tilføres energi ΔQ_{smelt} i form af varme for at smelte isklumpen og energi ΔQ_{opvarm} til at opvarme det smeltede vand til det opnår termisk ligevægt med det oprindelige vand i kruset. Da denne energi kommer fra afkølingen af det oprindelige vand ΔQ_{afkoel} , kan vi opstille følgende købmandsregnskab

$$\Delta Q_{smelt} + \Delta Q_{opvarm} = \Delta Q_{afkoel} \quad (4.1)$$

Vi tillader os at antage, at 'vand i krus + isklump' er et lukket system, idet flamingokruset både isolerer godt og har en lille varmekapacitet, samt at eksperimentet forløb over et relativt kort tidsrum. Derfor anser vi det for en

rimelig antagelse at sige, at energien i systemet er bevaret. Varmemængden er givet ved $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, hvor c er den specifikke varmekapacitet. Når L betegner is' smeltevarme fås:

$$\begin{aligned}\Delta Q_{smelt} &= m_{is}L \\ \Delta Q_{opvarm} &= m_{is}c(T_{is} - T_{slut}) \\ \Delta Q_{afkoel} &= m_{vand}c(T_{begynd} - T_{slut})\end{aligned}$$

Ved at indsætte disse størrelser i ligning (4.1) får vi

$$m_{is}L + m_{is}c(T_{is} - T_{slut}) = m_{vand}c(T_{begynd} - T_{slut})$$

Vores oprindelige hensigt var at kunne finde sluttemperaturen. Derfor isoleres T_{slut} i ligningen.

$$\begin{aligned}T_{slut} &= \frac{T_{begynd}cm_{vand} - Lm_{is} + T_{is}cm_{is}}{(cm_{vand} + cm_{is})} \\ &= \frac{T_{begynd}m_{vand} + T_{is}m_{is}}{(m_{vand} + m_{is})} - \frac{L}{c} \frac{m_{is}}{(m_{vand} + m_{is})}\end{aligned}\quad (4.2)$$

Vi kan her se, at de ukendte størrelser L og c er lineært afhængige hvilket betyder, at vi ikke kan finde dem hver for sig. Dette er heller ikke nødvendigt, da vi kan nøjes med at kende forholdet mellem dem for at kunne fremstille en procedure der kan forudsige sluttemperaturen. For at finde denne størrelse, skal vi lige isolere den

$$\begin{aligned}\frac{L}{c} &= \frac{T_{begynd}m_{vand} + T_{is}m_{is} - T_{slut}(m_{vand} + m_{is})}{m_{is}} \\ &= (T_{begynd} - T_{slut}) \frac{m_{vand}}{m_{is}} + T_{is} - T_{slut}\end{aligned}\quad (4.3)$$

Isens temperatur T_{is} antages at være $273K$, idet den kom fra en stor gryde hvor den delvis var smeltet. Ved at indsætte de målet værdier, kan vi nu finde størrelsen L/c , som er angivet i nedenstående skema

Måling	$\frac{L}{c}/K$
1	50,7
2	58,3
3	49,8
4	60,3

Vi kan se, at værdierne ligger spredt. Vi tillader os derfor at tage gennemsnittet af disse og finder

$$\frac{L}{c} \approx 54,8K$$

Enheden er i kelvin fordi L angiver energi pr. masse (J/Kg) og c angiver energi pr. masse pr. 'temperaturstigningsenhed' ($J/Kg \cdot K$). Derfor bliver enheden for L/c i kelvin.

Konklusion

Vi kan nu fremlægge proceduren for at kunne forudsige sluttemperaturen for et tilsvarende forsøg. Ved at kende vandmængden og dens temperatur, samt ismængden og evt. dens temperatur, kan vi ved at anvende ligning (4.2) og ligning (4.3) få følgende sammenhæng:

$$T_{slut} \approx \frac{T_{begynd}m_{vand} + T_{is}m_{is}}{(m_{vand} + m_{is})} - 54,8 \frac{m_{is}}{(m_{vand} + m_{is})} \quad (4.4)$$

En fysisk fortolkning af størrelsen L/c er, at den angiver forholdet mellem smeltevarmen og den specifikke varmekapacitet. I dette tilfælde betyder det, at det koster 54,8 gange så megen energi at smelte en given mængde is til vand, som det koster at varme den samme mængde vand 1 grad op.

Bemærk at der ikke er taget hensyn til de tilfælde hvor sluttemperaturen ville ligge under $0^{\circ}C$ ($273K$). Formlen kan derfor kun anvendes i de tilfælde hvor $T_{slut} > 273K$.

Usikkerhed og fejlkilder

De elektroniske instrumenter, termometeret og vægten, har en indbygget måleusikkerhed. Termometeret målte f.eks. isens temperatur til at være $1,5^{\circ}C$, hvilket ikke kan være tilfældet.

Af fejlkilder kan nævnes at vores system ikke var fuldstændig isoleret. Flamingobærerne isolerede ikke perfekt og flamingobærer-låget var heller ikke på mens isen blev puttet i. Af større betydning er dog nok at vores isklump var en klump knust is. Denne kunne således nemt indeholde vand. Vi tørrede den som sagt af på overfladen, men inde i kan der have gemt sig vand. Dette medfører at ikke hele 'isklumpen' behøver smeltevarme for at blive til vand. Det betyder også, at vores fundne værdi L/c nok er lidt lavere end den ville være i virkeligheden, hvis hele klumpen bestod af 'tør' is.

Afsluttende bemærkninger

Vi har gennem rapporten angivet den specifikke varmekapacitet som c . Vi er godt klar over, at der i virkeligheden er tale om c_p (konstant tryk), men

på gymnasieniveau skelner man ikke. Derudover har vi tilladt os at tage gennemsnittet af de fire fundne værdier for L/c . Det kan selvfølgelig diskuteres om hvorvidt vi bare kan gøre dette, men grunden til at vi har gjort det er, at vi som før nævnt skulle ende op med en formel, der kan forudsige sluttemperaturen i et lignende forsøg, hvor man må formode, at lignende fejlkilder opstår. Desuden er der ikke en enkelt af målingerne der ligger langt fra de andre, som vi så kunne se bort fra.

4.2 Vands specifikke varmekapacitet

Formål

Formålet er at finde vands specifikke varmekapacitet c , dvs. hvor meget energi der skal tilføres et kilo vand for at få en temperaturstigning på en grad.

Metode

Forsøget udføres ved hælde en afmålt mængde vand op i et flamingokrus, hvorefter der nedsænkes et varmelegeme og opvarmningen begynder. Der skal nu foretages en måling af temperaturen for hvert minut (eller anden passende tidsenhed). I stedet for et egentligt varmelegeme har vi anvendt en glødelampe som vi har indpakket i staniol, for at forhindre at der også udsendes energi i form af lys. Grunden til at der er anvendt flamingokrus er, at det næsten ikke har nogen varmfylde, hvorfor vi har set bort fra denne. Ved at måle strømmen der går gennem lampen og spændingsfaldet, er effekten umiddelbart givet.

Der skal dog siges, at vi antager at varmekapaciteten ikke afhænger af temperaturen for flydende vand ved én atmosfæres tryk. Vi har derfor også kun målt over et forholdsvis snævert temperaturområde (fra ca. 15°C til ca. 25°C), også fordi varmeudvekslingen med omgivelserne er minimal omkring rumtemperatur og derfor kan ses bort fra. Desuden er vores varmelegeme for lille til at kunne varme vandets temperatur højt op.

Måleresultater

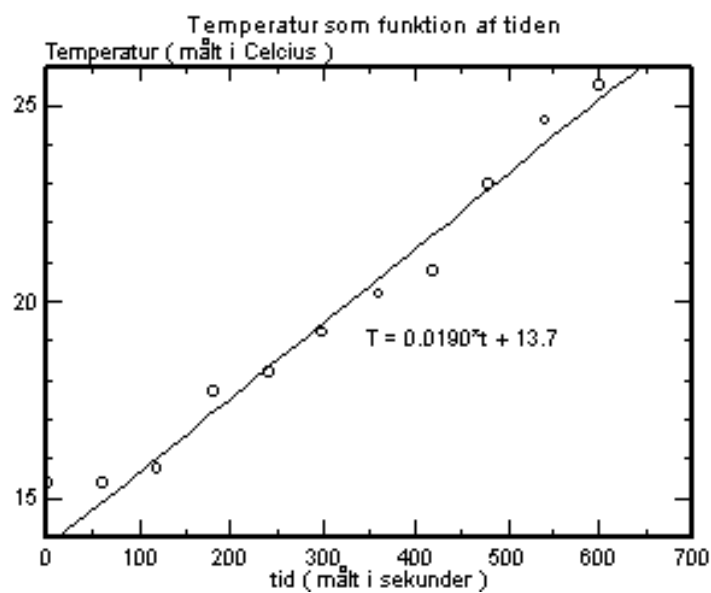
Følgende måleresultater blev indsamlet

Tid /[s]	Temperatur /[°C]
0	15,4
60	15,4
120	15,7
180	17,7
240	18,2
300	19,2
360	20,2
420	20,8
480	23,0
540	24,6
600	25,5

Øvrige størrelser

Vandets masse	$m = 0,268$	kg
Spændingsfald	12,03	V
Strømstyrke	1,722	A

Teori



Figur 4.1 Figuren viser de indplottede måledata for temperaturen som funktion af tiden.

Når ΔQ er den tilførte varme, c er den specifikke varmekapacitet, m er vandmængden og ΔT er temperaturstigningen gælder følgende relation

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (4.5)$$

Ved at isolere får vi varmekapaciteten givet ved

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \quad (4.6)$$

Den tilførte energi pr sekund kommende fra pæren er givet ved pærens effekt, nemlig

$$P = U \cdot I = 12,03 \cdot 1,722 = 20.72W \quad (4.7)$$

Bemærk, at effekt angives i Watt [W] eller Joule pr sekund [J/s]. Derfor vælger vi tidsenheden i ligning (4.6) til at være pr sekund, fordi vi så får ΔQ til at være lig pærens effekt P . Vi får så også temperaturstigningen ΔT pr sekund, som vi umiddelbart kan aflæse til $0.0190K/s$ udfra hældningen på figur (4.1). Nu kan vi indsætte i ligning (4.6).

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} = \frac{P}{m\Delta T} = \frac{20,72J/s}{0,268kg \cdot 0,019K/s} = 4068J/kgK \quad (4.8)$$

Da tabelværdien giver 4185 får vi en afvigelse på

$$\frac{c_{tabel} - c_{maalt}}{c_{tabel}} = \frac{4185 - 4068}{4068} = 2,8\% \quad (4.9)$$

hvilket må siges at være tilfredsstillende.

Konklusion

Konklusionen må være, at såfremt vands varmekapacitet ikke afhænger af temperaturen når vandet er flydende og det er ved et tryk på 1 atm, er den specifikke varmekapacitet tæt på

$$c \approx 4068J/kgK \quad (4.10)$$

Fortalt i ord, så skal der tilføres 4068 Joule for at varme ét kg vand én grad op.

Usikkerheder

Af usikkerheder kan nævnes måling af termometer, tid, masse, samt strømstyrke og spændingsfald.

Fejlkilder

Vores system er rimelig godt isoleret, men selvfølgelig har selve pæren en varmfylde som vi har set bort fra, og så kan det være at måleinstrumenterne ikke er blevet kalibreret korrekt. Desuden er varmeudvekslingen med omgivelserne og flamingokrusets varmfylde også fejlkilder omend de er meget små.

Afsluttende bemærkninger

Forsøget er lille og enkelt. Det er let at udføre, og man kan næsten ikke få dårlige måleresultater. Derfor er det velegnet til at give eleven en lille succes-oplevelse. Dem har vi jo alle brug for en gang imellem.

4.3 Vands fordampningsvarme

Formål

Formålet med dette forsøg er at finde fordampningsvarmen for vand, altså hvor meget energi der skal bruges til at fordampe en given mængde vand.

Metode

Metoden går ud på, at vi sætter en gryde med en afmålt mængde vand til at koge, mens vi måler temperaturen som funktion af tiden. Desuden måler vi den effekt som kogepanden bruger. Efter at kogepunktet er nået, får vandet lov til at koge et stykke tid, hvorefter vi måler den tilbageværende mængde vand, for således at finde den mængde vand der er fordampet. Herefter skulle det være muligt at finde frem til hvor meget energi der er gået til selve fordampningen.

Måleresultater

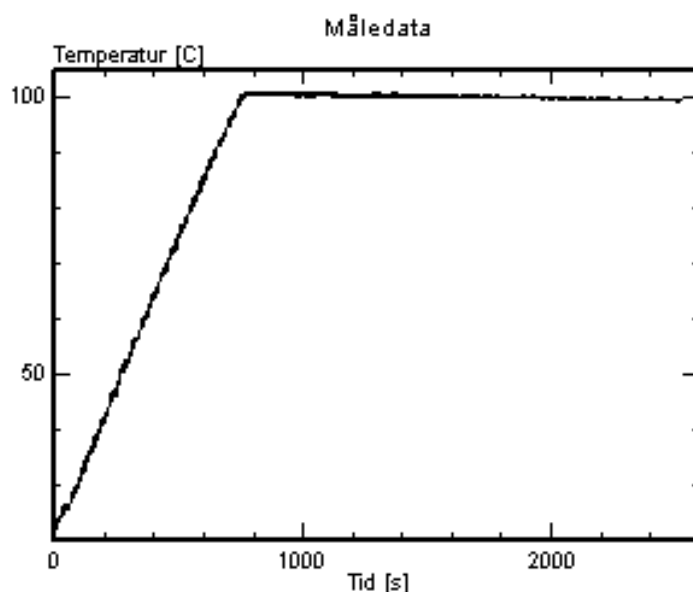
Måleresultaterne er indsamlet ved hjælp af computer - temperaturen er målt for hvert sekund. Dataerne er direkte plottet ind i figur (4.2). De øvrige indgående interessante størrelser fremgår af nedenstående skema

Indgåede størrelser		
Vandmængde før kogning	1,000	<i>kg</i>
Vandmængde efter kogning	0,590	<i>kg</i>
Fordampet vandmængde	0,410	<i>kg</i>
Kogerens effekt under kogning	580	<i>W</i>
Tidslængde kogningen foregår	1780	<i>s</i>
Vands specifikke varmekapacitet	4185	<i>J/kgK</i>

Teori

Ifølge energibevarelsen ved vi, at den tilførte energi er den samme som den energi der absorberes af vandet plus den energi der afgives til omgivelserne.

$$E_{\text{tilført}} = E_{\text{absorberet}} + E_{\text{til omgivelserne}} \quad (4.11)$$



Figur 4.2 Grafisk afbildning af måldata.

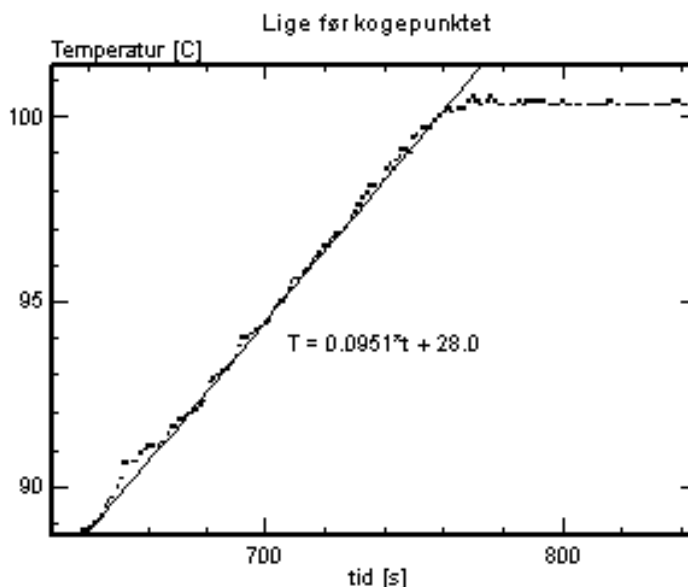
Vi kender effekten af kogepladen som er $580W$, men vi kan se på figur (4.2), at kurven flader en smule ud lige før vi når kogepunktet (det er svært at se på figuren), hvorefter den knækker helt og bliver vandret. Grunden til at kurven flader lidt ud er, at vandet bruger længere tid (og dermed mere energi) på at blive varmet op. Der må altså gå mere og mere varme tabt til omgivelserne jo varmere systemet bliver, hvilket også lyder rimeligt. Herefter går hele energien til selve faseovergangen i vandet fra flydende- til dampform, istedet for at varme vandet yderligere op.

Vores opgave er i første omgang at finde ud af hvor meget energi der rent faktisk absorberes af vandet. Ser vi på et givet punkt på grafen i figur (4.2), kan vi se, at hældningen siger noget om hvor meget temperaturen stiger for hvert sekund, og dermed hvor meget den indre energi stiger pr sekund, idet

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (4.12)$$

hvor c er den specifikke varmekapacitet og m er massen. Hvis vi finder hældningen lige før grafen knækker - altså kogepunktet, finder vi ud af hvor meget energi der absorberes af systemet mens vandet koger (fordamper). På figur (4.3) er der zoomet ind på området lige før kogepunktet i figur (4.2) og den bedste rette linie er fundet. Her ser vi, at temperaturen stiger $0,0951K/s$ (Kelvin pr. sekund). Det betyder, at systemet modtager

$$\Delta Q = cm\Delta T = 4185J/kgK \cdot 1,000kg \cdot 0.095K/s = 398J/s \quad (4.13)$$



Figur 4.3 Her vises figur (4.2) lige før temperaturen når kogepunktet

Som en lille sidebetragtning kan vi konstatere, at energiuudnyttelsen er omkring 70%, idet at vandet absorberer $400W$ mens kogepladen bruger godt omkring $580W$ - Ikke så dårligt.

Når vi nu kender den reelle tilførte energi, er vi i stand til at udregne den latente varme L (den mængde energi der skal tilføres vandet pr masseenhed for at få vandet fra flydende form til damp form ved konstant temperatur). Da trykket er konstant går vi ud fra at det flydende kogende vand har samme temperatur som det fordampede vand, nemlig $100^\circ C$. Vi regner lidt

$$L = \frac{\Delta Q}{\Delta M} = \frac{P}{\Delta t} = \frac{398J/s \cdot 1780s}{0,410kg} = 1727902J/kg \quad (4.14)$$

Sammenligner vi med tabelværdien, der giver $2.257.000J/kg$, har vi ramt en nøjagtigt på 77% idet.

$$\frac{1,728MJ}{2,257MJ} \cdot 100\% \approx 77\% \quad (4.15)$$

Konklusion

Vi har målt vands fordampningsvarme til $1,73MJ$ hvilket er 77% fra tabelværdien der er $2,26MJ$. Det er bemærkelsesværdigt, at fordampningsvarmen er omkring 7 gange større end smeltevarmen og hele 540 gange større end

varmekapaciteten.

Moralen kunne være, at når man har taget et brusebad, så er grunden til at man 'sweaper' gulvet for vand ikke kun at undgå kalkaflejringer, men også at det er belastende for varmeregningen hvis vandet skal fordampes væk.

Usikkerhed og fejlkilder

Vi har tilladt os udfra hældningen lige før kogepunktet på grafen, at estimere den mængde energi vandet bliver tilført. Det mener vi godt at vi kan, fordi opvarmningen går forholdsvis langsomt (kogepladen har en effekt på kun 580W), således at den varme der forsvinder fra systemet pr tidsenhed nok ikke ændres nævneværdigt som tiden går. Dette er en subjektiv vurdering, så vi kan ikke komme med et bud på hvor stor denne fejlkilde er.

Desuden har vi antaget at hele fordampningen er foregået under selve kogningen. Der er selvfølgelig fordampet noget inden kogepunktet er nået, men ikke meget relativt set. Faktisk kunne vi observere da vi vejede gryden efter kogning, at der fordampede omkring 10 gram vand i løbet af et halvt minut, og da var vandet vel at mærke taget af kogepladen for lidt siden. Så jo længere kogningen foregår jo mindre bliver andelen af fordampet vand udenfor kogetiden.

Desuden er en del vand nok blevet 'revet op' med dampen uden selv at være kommet i gasfasen. Disse er nok de væsentligste årsager til afvigelsen fra tabelværdien

Afsluttende bemærkninger

Vi behøvede ikke at kende kogepladens effekt, men det er nu altid sjovt at se om man får noget der ligner et realistisk bud. Havde vi fået noget med at vi tilførte mere energi til vandet end kogepladen brugte, ville der være noget galt. Derfor er det som en trygheds-parameter for os selv at vi synes det er smart at tage med.

Mange tror, at når man kan slukke en brand med vand, er det fordi vand ikke brænder og når de ting der skal brænde bliver våde kan de ikke brænde. Og det er meget forkert. Det man gør er at bryde den onde cirkel. Varmen fra ilden får gasser til fordampe ud af f.eks. træet, som igen brænder (bindes kemisk til ilt) og udvikler varme som igen går til at fordampe gasser. Vand som slukningsmiddel er glimrende til at fratage varme fra systemet (branden), netop fordi at der kræves meget energi for at få det til at fordampe (selvfølgelig er det altafgørende at vandet ikke selv kan brænde). Derfor skal

man bruge vand med så stor overflade som muligt, for at slukningen skal ske så effektivt som muligt. Det er derfor man skal bruge en vandforstøver til at slukke juletræet eller adventskransen med, snarere end en haveslange eller endnu værre en hel balje der hældes over.

4.4 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:

$$P \cdot V = N \cdot K_B \cdot T \quad (4.16)$$

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

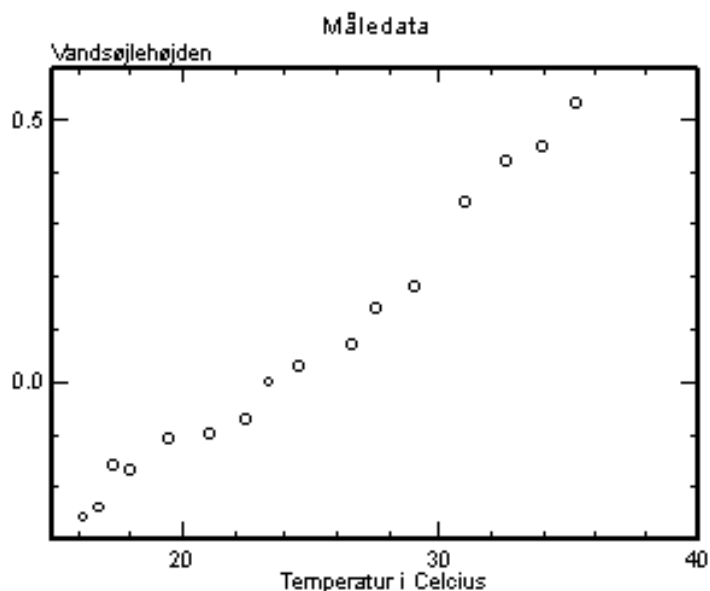
muligt, samt at vi kunne måle over så stort spænd som muligt. Det betyder bare, at trykket inde i beholderen er netop en atmosfære ved $23,4^{\circ}\text{C}$ - vandsøjlerne er lige høje.

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



Figur 4.4 Figuren viser de målte værdier for højden som funktion af temperaturen

Som vist i ligning (4.16) får vi, når volumen V og partikeltallet N er konstante, følgende relation mellem tryk og temperatur

$$P = \left(\frac{1}{V}NK_B\right)T \quad (4.17)$$

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

$$P = P_0 + \frac{F_g}{A} = P_0 + \frac{m_{\text{vand}} \cdot g}{A} \quad (4.18)$$

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

$$P = P_0 + \frac{m_{\text{vand}} \cdot g}{A} = P_0 + \frac{\rho \cdot h \cdot A \cdot g}{A} = P_0 + \rho gh \quad (4.19)$$

Nu kan vi indsætte det fundne udtryk i ligning (4.17)

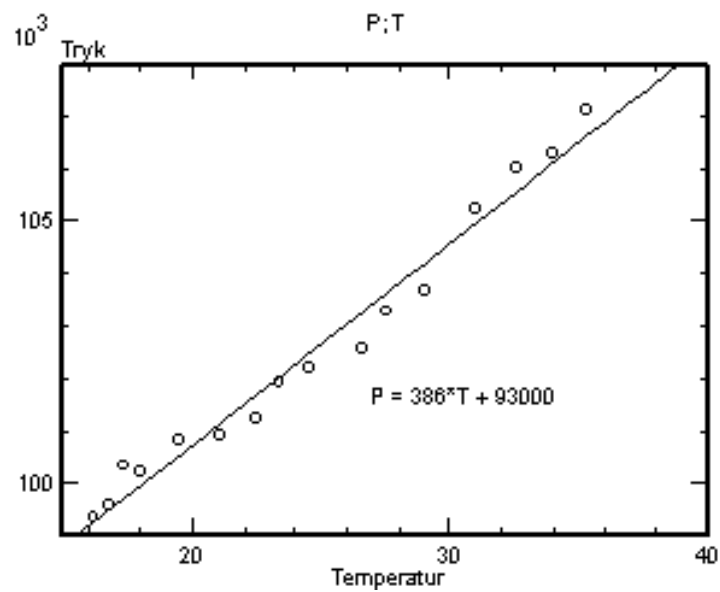
$$P_0 + \rho gh = \left(\frac{1}{V}NK_B\right)T \quad (4.20)$$

Figur (4.5) adskiller sig fra (4.4), ved at vi har plottet højde-måleresultaterne indsat i venstre side i ligning (4.20) som funktion af temperaturmåleresultaterne. Bedste rette linie er indtegnet.

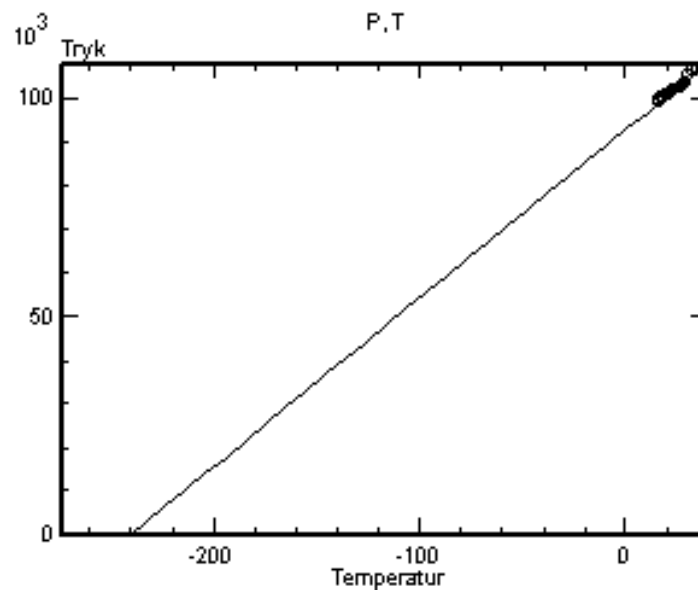
På figur (4.5) kan vi også aflæse hældningen på grafen til at være 386 . Det betyder, at trykket øges med 386 N/m^2 for hver grad gassen stiger i temperatur. Ligeledes kan vi aflæse trykket ved 0°C til at være 93000 N/m^2 . Nu kommer så det store spørgsmål: "Hvad er temperaturen når trykket er faldet til 0 ?". Det prøver vi at regne lidt på

$$P = 0 = 386T + 93000 \Rightarrow T = \frac{-93000}{386} \approx -240^\circ\text{C} \quad (4.21)$$

Resultatet fremkommer også grafisk på figur (4.6). Her ser vi, at figur (4.5) er udvidet så den når ned til hvor trykket er 0 , og hvor vi ser at linien skærer temperaturaksen ved de samme -240 .



Figur 4.5 Figuren viser trykket som funktion af temperaturen.



Figur 4.6 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.

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 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.

4.5 Nyttevirkning af en glødelampe

Formål

Formålet med dette forsøg er at finde nyttevirkningen af en glødelampe, dvs hvor meget af energien der rent faktisk går til lys. Lampen der er anvendt er en 12V pære, en typisk bilbaglygte.

Metode

Metoden består i at sænke glødelampen ned i et glas vand. Når lampen bliver tændt, vil den varme vandet op. Ved at måle vandets temperaturstigning over en tidsperiode, kan man udregne hvor meget varmeenergi vandet har absorberet. Forsøget laves i to måleserier, en hvor lampens lys lyser ud gennem det gennemsigtige glas. Her vil lysenergien stråle ud fra systemet vi måler på, og kun varmen blive tilbage. I den anden måleserie pakkes lampen ind i staniol således at al energien bliver til varme og dermed i systemet. Forskellen mellem de to målinger skulle gerne være den energi der bliver til lys under normale omstændigheder.

Måleresultater

Vi bruger et gennemsigtigt plastikglas som vi fylder med vand så hele pæren med fatning lige er dækket. Den energi der går til at varme selve glasset og pæren op, samt den varme der forsvinder ud af glasset pga. manglende varmeisolering, har vi ikke taget højde for. Dog har vi forsøgt at minimere vandets varmetab i eksperimentet, idet vi har valgt vandets begyndelsestemperatur så den ligger lidt under rumtemperaturen, og desuden har vi dækket glasset til med et låg. Vores måleresultater er angivet i følgende skema. Temperaturen er målt en gang i minuttet.

t/minut	T_{medlys}	T_{udenlys}
0	20,3	18,2
1	20,6	20,3
2	21,8	21,2
3	24,0	22,5
4	25,7	25,1
5	26,9	27,4
6	28,6	28,5
7	30,5	31,6
8	31,7	33,1
9	33,7	35,3
10	35,3	36,8

Øvrige størrelser

Vandets masse (uden lys)	$m_u = 0,109$	kg
Vandets masse (med lys)	$m_m = 0,136$	kg
Spændingsfald	11,9	V
Strømstyrke	1,69	A

I figur (4.7) og (4.8) er de to måleserier afbilledet. Det ses at temperaturen stiger lineært med tiden. I figur (4.9) er de afbilledet sammen og med bedste rette linie tegnet ind. Det ses at måleserien for $T_{\text{uden lys}} = T_u$ har større hældning end $T_{\text{med lys}} = T_m$, hvilket også er hvad vi forventede. Her undslipper lyset ikke og giver dermed et yderligere bidrag til opvarmningen.

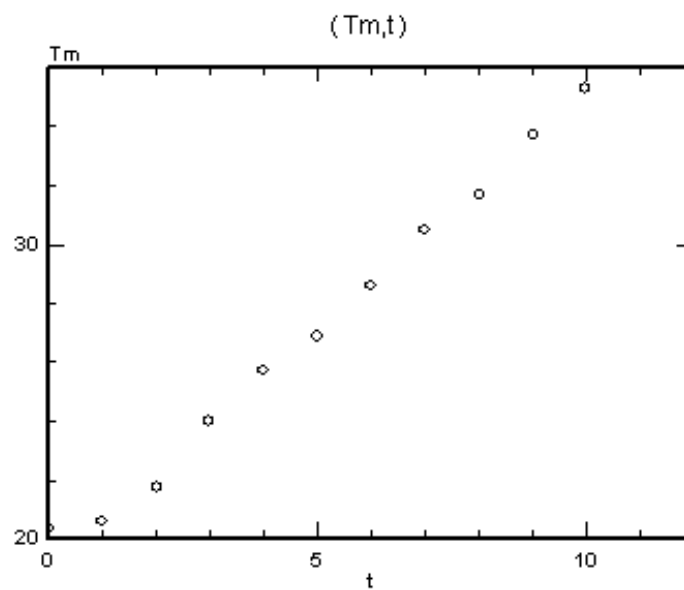
Teori

Når pæren tændes udsender den både lys og varme. Hvis vi betragter systemet af glødepære, vand og krus som isoleret (bortset fra at lyset skal have lov til at forsvinde), skal den energi der går til lys være lig med energien absorberet af vandet uden lys minus energien absorberet af vandet med lys. Opskrevet som formel bliver energiregnskabet

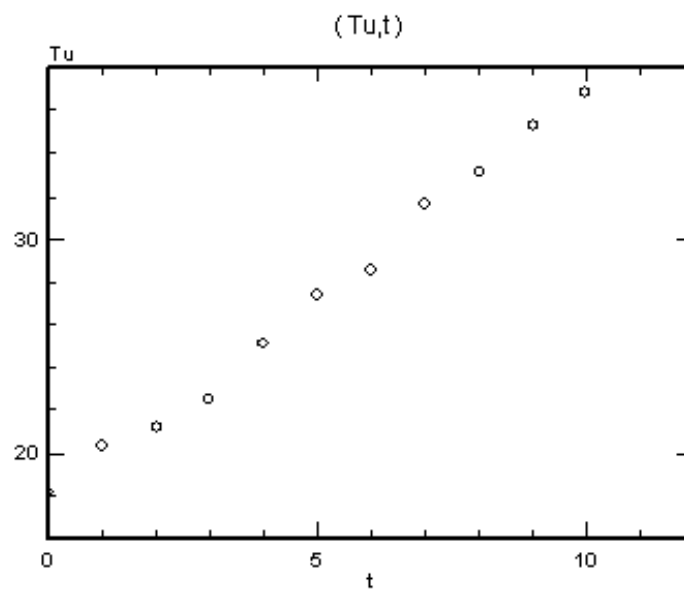
$$Q_{\text{lys}} = Q_{\text{uden lys}} - Q_{\text{med lys}} \quad (4.22)$$

Hvor varmeenergien er givet ved

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.23)$$



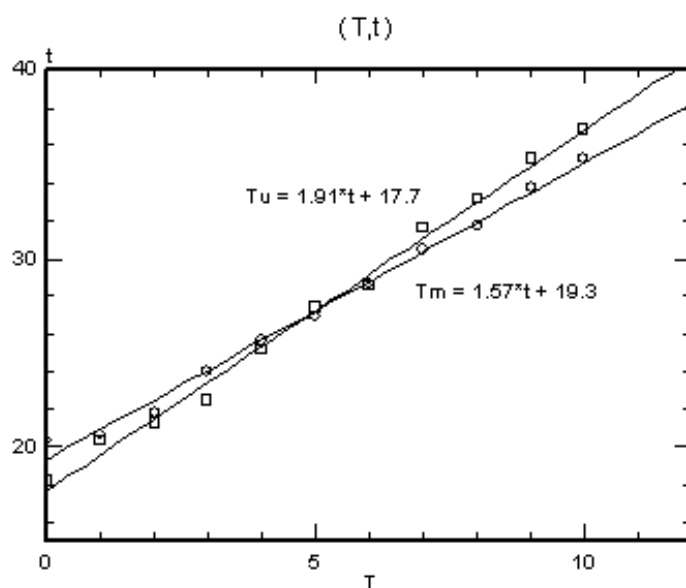
Figur 4.7 Forsøget 'med lys', hvor lyset undslipper. Sammenhørende værdier af tid og temperatur er plottet.



Figur 4.8 Forsøget 'uden lys' hvor pæren er pakket ind i staniol. Sammenhørende værdier af tid og temperatur er plottet.

hvor c er vands specifikke varmekapacitet og m massen af vandet. Ved at indsætte og regne lidt får vi

$$Q_{\text{lys}} = Q_{\text{uden lys}} - Q_{\text{med lys}} \quad (4.24)$$



Figur 4.9 Her ses figur (4.7) og (4.8) i samme diagram. Hver af de bedste rette linier er indtegnet.

$$= m_u \cdot c \cdot \Delta T_{\text{uden lys}} - m_m \cdot c \cdot \Delta T_{\text{med lys}} \quad (4.25)$$

For at finde den effekt som glødepæren rent faktisk bruger til at lyse med, har vi afbilledet $Q_{\text{uden lys}}$ og $Q_{\text{med lys}}$ i figur (4.10). ΔT er fundet ved at tage differensen mellem to på hinanden følgende temperaturer. Bedste rette linie er også indtegnet for de to måleserier og deres hældninger angiver altså den af pæren afgivne varmemængde pr. tidsenhed (60 sek).

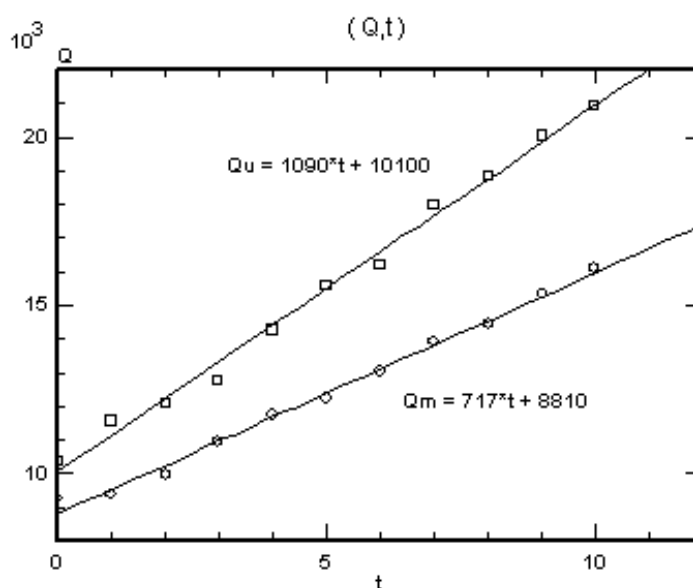
Lyseeffekten P angivet i joule pr sekund fås derfor til

$$P = \frac{Q}{60s} = \frac{\Delta Q_u}{60s} - \frac{\Delta Q_m}{60s} = \frac{1090J}{60s} - \frac{717J}{60s} = 18,2W - 12,0W = 6,2W \quad (4.26)$$

Nytttevirkningen η er

$$\eta = \frac{6,2W}{18,2W} = 34\% \quad (4.27)$$

I stedet for at dividere med de $18,2W$ (som ideelt set, hvis der ikke var usikkerheder eller fejlkilder, er den effekt pæren bruger) kunne vi bruge den effekt vi målte med vores multimeter. Med en spænding på $U = 11,9V$ og en strømstyrke på $I = 1,69A$ fås en effekt på $P = 20,0W$. Grunden til at vi har valgt at bruge de $18,2W$ er, at de er målt efter samme metode som



Figur 4.10 Her ses den tilførte varmemængden for begge forsøg. Målepunkter for hvert minut og den tilhørende bedste rette linie er afbilledet for begge måleserier.

de 6, 2W. De to tal er således behæftede med de samme usikkerheder og fejl og derfor mere relevante at sammenligne. Det er formodentlig selve glassets varmefylde der er den betydeligste fejlkilde.

En nyttevirkning på 34% lyder måske ikke af meget, men den er i virkeligheden alt for stor. For en glødepære ligger den typisk kun på en 10%. Grunden til at vi får et alt for stort tal er, at vores 'lyseffekt' også indeholder en masse ikke-synligt lys. Pæren udsender jo ikke kun stråling i det synlige område, men i et meget bredere elektromagnetisk spektrum, herunder en større del i det infrarøde område. Men når vi taler om nyttevirkning mener vi vel med det synlige lys.

Konklusion

Vi fandt en nyttevirkning på 34% og lærte at dette forsøg har en altoverskyggende fejlkilde i form af pærens stråling i det ikke-synlige område.

Usikkerhed og fejlkilder

Usikkerhed: Vores termometer, stopur og multimeter har en indbygget måleusikkerhed.

Fejlkilder: Den største fejlkilde er som nævnt tidligere at pæren udsender meget 'lys' i det ikke synlige område. En anden ting er at vores system ikke er isoleret. Glasset med vand udveksler altså varme med omgivelserne. Vi har dog prøvet at minimere denne effekt ved at lade vandets temperatur være tæt på rumtemperaturen. Det at selve glasset også absorberer varme har vi tilladt os helt at se bort fra, da der nok ikke er så stor forskel på de to måleserier og derfor får det ikke så stor betydning. Om termometeret evt. ikke var kalibreret har ikke betydning for forsøget, da vi i sidste ende kun er interesseret i temperaturstigninger.

Afsluttende bemærkninger

Afslutningsvis kan man sige om forsøget, at det nok ikke er velegnet til at måle nyttevirkningen af en glødelampe med, men det er relative simpelt at lave, og vi mener at det egner sig fortrinligt til at få eleverne til selv at tænke på forsøgsopstillingen. Derudover er det et velegnet forsøg til at indøve energiregnskabet (købmandsregnskab med energibevarelsen)