

FYS2160 Laboratorieøvelse 1

Faseoverganger (H2013)

Denne øvelsen går ut på å bestemme smeltevarmen for is og fordampningsvarmen for vann ved 100°C (se teori i del 5.3 i læreboka ¹). Trykket skal i begge tilfeller være lik atmosfæretrykket.

1.1 Smeltevarmen

Den spesifikke (molare) smeltevarmen for is er den energien som trengs for å om-danne 1 kg (ett mol) is med temperatur 0°C til vann med temperatur 0°C .

1.1.1 Apparat

For å bestemme smeltevarmen for is, trenger vi dette utstyret:

- Kalorimeter
- Strømforsyning
- Amperemeter
- Voltmeter
- Termometer (PASCO, koblet til PC via USB)
- Digitalvekt
- Isblokk i et isvannbad (kar med is og vann)

Kalorimeteret består av en isoporisolert beholder av rustfritt stål med et plast-lokk som er påmontert et varmeelement og en rører. Termometerets føler kan føres ned i kalorimeteret gjennom et hull i lokket.

¹Daniel V. Schroeder, “An Introduction to Thermal Physics”.

1.1.2 Utførelse

Kalorimeteret fylles med ca. 1,25 liter vann som har ca. romtemperatur. Data-loggingsprogrammet startes (se appendiks). Røreren startes. Strømmen skrues på slik at det sendes en strøm på 0,75 A gjennom varmeelementet. Når temperaturen er oppe i ca. 30 °C, slås strømmen av. Når effekten som tilføres kalorimeteret med innhold er konstant, blir dT/dt tilnærmet konstant (når kalorimeteret er godt isolert, er energiutvekslingen med omgivelsene liten). Varmekapasiteten C_0 til hele kalorimeteret med innhold beregnes ved hjelp av likningen

$$C_0 dT/dt = U \cdot I, \quad (1.1)$$

der I er strømmen gjennom og U er spenningen over elementet.

Når varmekapasiteten til kalorimeteret er funnet, kan eksperimentet for å finne smeltevarmen til is utføres ved å smelte en isklump i kalorimeteret mens temperaturen logges. Temperaturforløpet i kalorimeteret er antydnet i Fig. 1.1. Med røreren fremdeles i gang slå av strømmen (**NB! Datalogging skal ikke avbrytes!**). Temperaturen vil da avta sakte (A–B i figuren). Etter fem minutter hentes en isblokk med et volum på ca. 250 milliliter fra et kar med is og vann. Isblokkens temperatur er da nær 0 °C. Isblokken tørres av, veies så fort som mulig og legges i kalorimeteret (B i figuren).

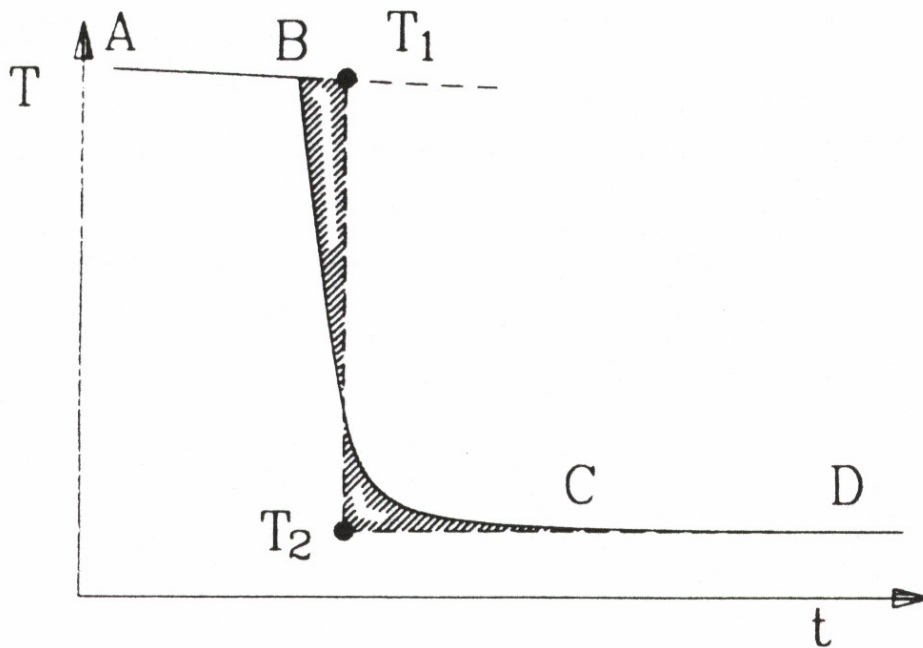


Figure 1.1: Temperaturforløpet i kalorimeteret.

Når temperaturen i kalorimeteret har holdt seg tilnærmet konstant i ca. 5 minutter (C–D), slås rørerer av og dataloggingen avsluttes.

1.1.3 Beregning av smeltevarmen

Den spesifikke smeltevarmen L_s (“latent heat of melting”) beregnes ved hjelp av likningen

$$m [L_s + C_v(T_2 - T_0)] = C_0(T_1 - T_2). \quad (1.2)$$

Her er m massen til isen som smeltet i kalorimeteret. Vannets spesifikke varmekapasitet (C_v) avtar fra ca. 4220 J/kg/K ved 0 °C til ca. 4180 J/kg/K ved 20 °C. Vi velger en midlere verdi for vannets spesifikke varmekapasitet i det aktuelle temperaturområdet, f.eks. $C_v=4200$ J/kg/K. Temperaturen T_0 settes lik 0°C. Temperaturene T_1 og T_2 bestemmes ved hjelp av diagrammet i Fig. 1.1 som viser temperaturgangen i kalorimeteret. Den tilnærmet rette linjen AB forlenges til høyre. Den tilnærmet rette linjen CD forlenges til venstre. Deretter trekkes det en rett linje parallell med T -aksen slik at den krysser temperaturforløpet ca. halvveis mellom AB og CD i den vertikale retningen. Skjæringspunktene mellom denne linjen og de forlengede linjene gir T_1 og T_2 . I DataStudio kan “SmartTool crosshair” brukes til dette - den er på fra starten. Den plasseres med mussen (klikk og hold, dra). Klikk på en av kantene til krysset (da vises en liten Δ) og dra musen til det punktet du vil måle avstanden i plottet til.

Oppgave 1. Bestemmelse av C_0

Bestem varmekapasiteten til kalorimeteret med innhold.

Oppgave 2. Bestemmelse av L_s

Bestem den spesifikke og den molare smeltevarmen for is.

Oppgave 3. Tolkning av formel 1.2

Forklar hva leddene i formel 1.2 representerer og hvordan de henger sammen. Der-som smeltevarmen til is hadde vært høyere, hvordan ville det påvirket temperaturmålingene våre?

1.2 Fordampningsvarmen

Vi betrakter et system av vann og damp i likevekt ved trykket P og temperaturen T . Funksjonen $P(T)$ inneholder informasjon om vannets fordampningsvarme. Et tilnærmet riktig uttrykk for funksjonen $P(T)$ kan utledes på grunnlag av følgende spesielle antagelser:

- Vannets molare volum er mye mindre enn dampens molare volum.
- Dampen kan betraktes som en ideell gass.
- Den molare fordampningsvarmen L_f (“latent heat of vaporization” i J/mol) er konstant i et lite temperaturintervall.

Ved hjelp av Clausius-Clapeyrons likning og ovennevnte antagelser kan vi utlede relasjonen

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = -\frac{L_f}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \quad (1.3)$$

Her er P_1 og P_2 damptrykkene ved temperatuene T_1 og T_2 , som antas nær hverandre, og $R = N_A k_B$ der $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ /mol er Avogadros tall og $k_B = 1.3806488 \times 10^{-23}$ J/K er Boltzmanns konstant.

1.2.1 Apparat

En skisse av apparaturen er vist i Fig. 1.2. Kolben A inneholder vann og kokestein som forhindrer støtkoking. Et glassrør og en slange forbinder kolben med buffervolumet B , som gjør systemet “mykere”. Ved hjelp av en vannstrålepumpe kan trykket i systemet reduseres fra atmosfæretrykket (ca. 100 kPa) til ca. 20 kPa. Mellom pumpen og buffervolumet er en hane H_1 . Buffervolumet er også utstyrt med en hane H_2 . Når H_2 åpnes, slippes luft inn i systemet. Glassrøret ut fra kolben A kjøles med kaldt vann, slik at dampen fra kolben kondenseres til vann som renner tilbake til kolben.

1.2.2 Utførelse

Start vannstrålepumpen med hanene lukket. Hanen H_1 åpnes forsiktig og holdes åpen til trykket har nådd ca. 20 kPa. Så stenges H_1 og pumpen slås av. Sett på kjølevannet og varm opp vannet i kolben til koking. Unngå voldsom koking ved passende regulering av varmeelementet. Når manometeret (trykksensor) M og termometeret T viser tilnærmet konstante verdier, er systemet i en stasjonær tilstand. Da er metningstrykket for vanndampen lik trykket over vannet i kolben, og man måler sammenhengende verdier av trykk og temperatur ved hjelp av dataloggingsprogrammet (se appendiks). Anslå usikkerhetene i avlesningene. Deretter åpnes hanen H_2 forsiktig slik at trykket i systemet økes. Hanen stenges når trykket har steget ca. 5 kPa. Etter kort tid når systemet en ny stasjonær tilstand. Dette gjentas inntil trykket blir atmosfæretrykket (ca. 100 kPa).

Oppgave 4. Måling av metningstrykk og temperatur

Bestem sammenhengende verdier av metningstrykk og temperatur for vanndamp for hvert trykk mellom startverdien (ved stabil koking osv. for første gang) og ca.

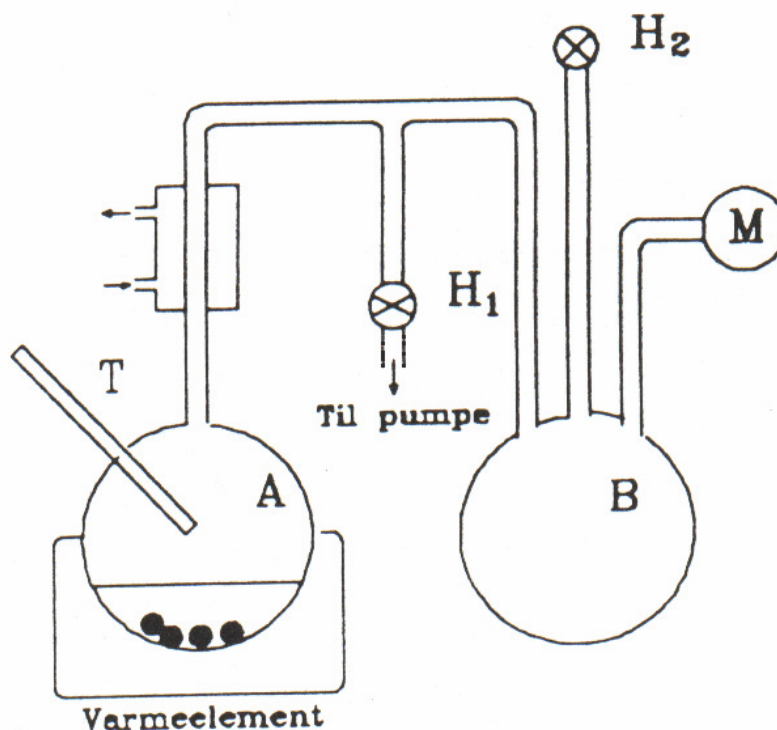


Figure 1.2: Apparat for måling av damptrykkets temperaturavhengighet.

100 kPa. NB! Hvis startverdien ikke er godt under 60 kPa kontakt en veileder før dere fortsetter.

Oppgave 5. Beregning av fordampningsvarmen

Anvend en lineær tilpasning til de sammenhørende verdiene for $\ln(P)$ og $1/T$ for å beregne den molare fordampningsvarmen for vann (ut i fra stigningstallet i formel 1.3) som gjelder for temperaturområdet nær 100°C . Sett av (gjerne for hånd på utskriften av grafen) usikkerheter i 3–4 punkter fordelt over måleområdet. Over hvilket temperaturområde virker fordampningsvarmen å være nokså konstant? Hvordan stemmer deres resultater for fordampningsvarmen og smeltevarmen med kjente verdier?

1.3 Et siste spørsmål

Hva kan dere si om energiforbruket under koking av vann sammenlignet med smelting av is?

Appendiks: Hvordan bruke DataStudio



Figure 1.3: Klikk på “Ignore this sensor” (eller tilsvarende på norsk), siden vi skal starte DataStudio fra et ikon på skrivebordet.

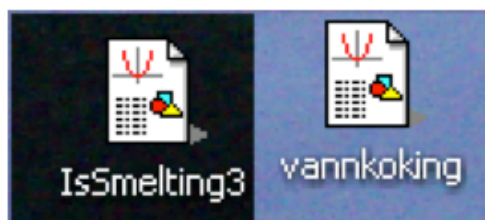


Figure 1.4: Klikk to ganger på det ikonet (på datamaskinens skrivebord) som gjelder. Dette starter DataStudio og laster inn riktig program.

Start dataloggingsprogrammet DataStudio, som forklart i figur 1.4. Klikk på startknappen for å sette i gang med datalogging, som vist i figur 1.5. Hvis du får opp et spørsmål om å bruke en ny (PASCO) sensor som i figur 1.3, skal du klikke på “Ignore this sensor” (eller tilsvarende på norsk).

Måling av smeltevarmen (IsSmelting)

Start dataloggingen tidlig, til og med før dere slår på strømmen som varmer opp vannet under måling av kalorimeterets (med innhold) varmekapasitet. De samme (!) dataene vises som tre forskjellige “runs”: dette gjør det mulig å utføre tre uavhengige lineære tilpasninger i de forskjellige tidsfaser av forsøket, som forklart under.

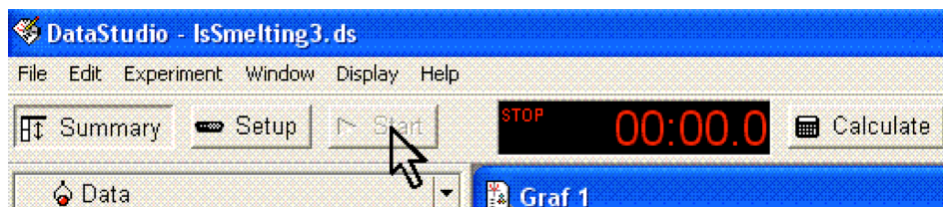


Figure 1.5: Klikk på startknappen for å sette i gang med datalogging.

Måling av fordampningsvarmen (vannkoking)

Da fordampningsvarmen skal måles blir datalogging delvis manuell - dere klikker på “Keep”-knappen ² som dukker opp i DataStudios hovedvindu. Dere klikker på den for hver gang systemet er i en ny stasjonær tilstand, dvs. vannet koker stabilt og temperaturen og trykket er nokså konstante. Klikk på Stop-knappen etter at siste punkt er logget.

1.3.1 Lineær tilpasning av utvalgte datapunkter

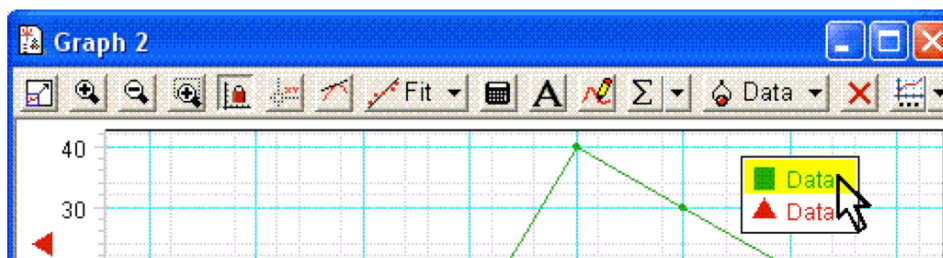


Figure 1.6: Velg et “run” av data fra symbollisten. For dette eksperimentet blir disse “runs” flere kopier av de samme dataene.

NB! Du kan bare utføre én tilpasning for hvert “run”. Gjenta prosedyren under for hvert “run” og ønsket tidsområde:

1. velg et “run” av data, som vist i figur 1.6;
2. velg “Linear Fit” fra “Fit”-menyen, som vist i figur 1.7;
3. velg de aktuelle datapunktene som skal tilpasses, som vist i figur 1.8.

Resultatet som vises på skjermen er skjæringspunktet og stigningstallet med usikkerhet for hver tilpasset linje.

²Eller muligens “Register”-knappen i eldre versjoner av DataStudio.

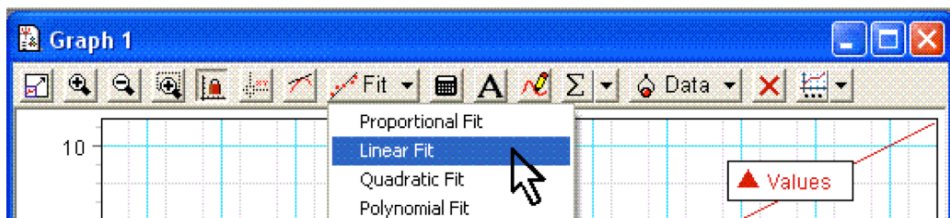


Figure 1.7: Velg “Linear Fit” fra *Fit*-menyen.

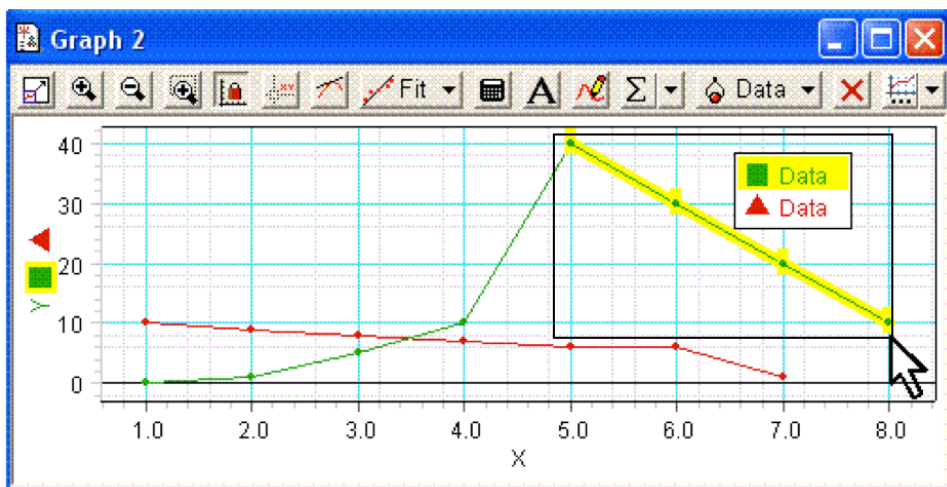


Figure 1.8: Velg de aktuelle datapunktene fra dette “run”: Klikk og dra musen for å lage en firkant om datapunktene som skal tilpasses.