

# FYS2160 Laboratorieøvelse 1

## Faseoverganger (H2016)

Denne øvelsen går ut på å bestemme smeltevarmen for is og fordampningsvarmen for vann ved  $100^\circ\text{C}$  (se teori i del 5.3 i læreboka<sup>1</sup>). 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  $0^\circ\text{C}$  til vann med temperatur  $0^\circ\text{C}$ .

#### 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.

---

<sup>1</sup>Daniel V. Schroeder, “An Introduction to Thermal Physics”, Addison Wesley (2000), <http://physics.weber.edu/thermal/>.

### 1.1.2 Utførelse

Kalorimeteret fylles med ca. 1,25 liter vann som har ca. romtemperatur. Data-loggingsprogrammet startes (se appendiksen). 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 varmeelementet.

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 rørerens 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).

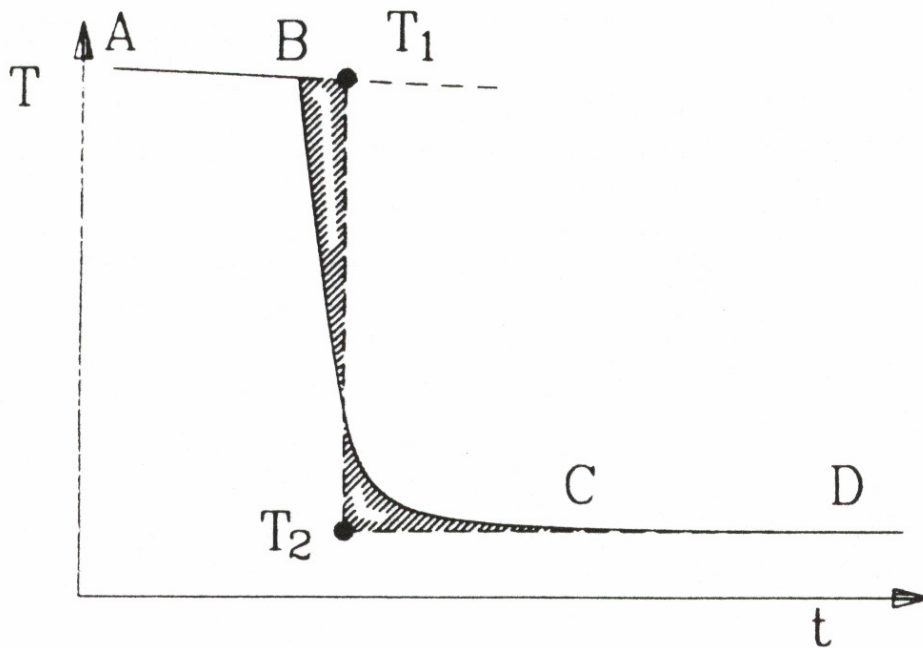


Figure 1.1: Temperaturforløpet i kalorimeteret.

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 musen (klikk og hold, dra). Klikk på en av kantene til krysset (da vises en liten  $\Delta$ ) 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 sammenhørende 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 sammenhørende verdier av metningstrykk og temperatur for vanndamp for hvert trykk mellom startverdien (ved stabil koking osv. for første gang) og ca.

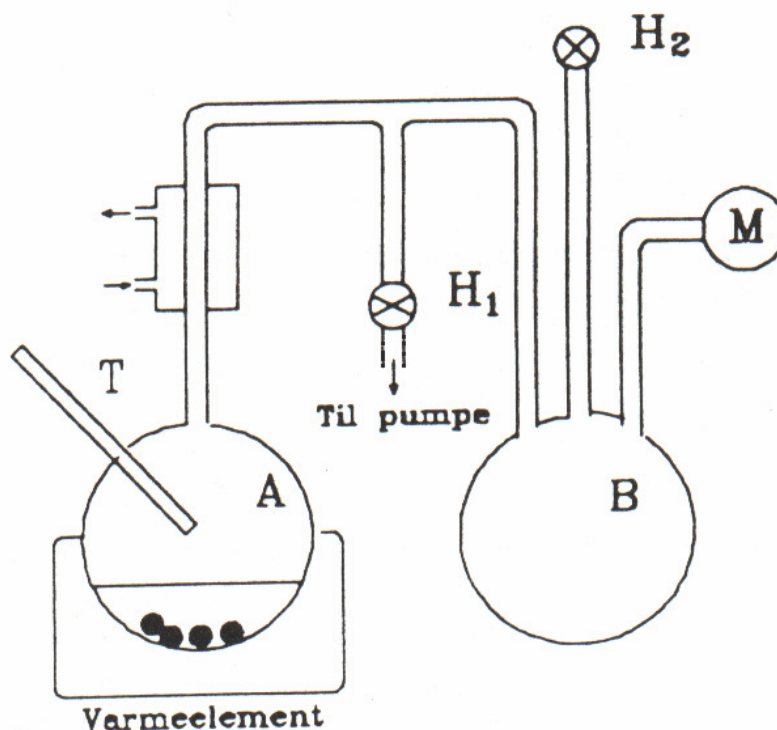


Figure 1.2: Apparat for måling av damptrykkets temperaturavhengighet.

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  $100^\circ\text{C}$ . 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 lik verdien funnet for standardbetingelser ( $100^\circ\text{C}$  og atmosfæretrykk)?

### Oppgave 6. To spørsmål

Hvordan stemmer deres resultater for fordampningsvarmen og smeltevarmen med kjente verdier? Hva kan dere si om energiforbruket under koking av vann sammenlignet med smelting av is?

## Appendiks: Hvordan bruke Capstone

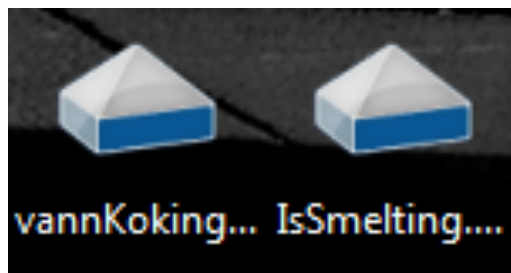


Figure 1.3: *Klikk to ganger på det ikonet (på datamaskinens skrivebord) som gjelder. Dette starter Capstone og laster inn riktig program.*



Figure 1.4: *Klikk på startknappen (Record) for å sette i gang med datalogging. For vannKoking heter startknappen Preview.*

Start dataloggingsprogrammet Capstone, som forklart i figur 1.3. Klikk på startknappen for å sette i gang med datalogging, som vist i figur 1.4.

### 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.

### Måling av fordampningsvarmen (vannKoking)

Da fordampningsvarmen skal måles blir datalogging delvis manuell - dere klikker på "Keep Sample"-knappen som dukker opp ved siden av Preview i Capstones hovedvindu. Dere klikker på Keep Sample 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. Det går an å undertrykke datapunkter som er logget ved feil tidspunkt (spør veilederen om hjelp).

### 1.2.3 Lineær tilpasning av utvalgte datapunkter

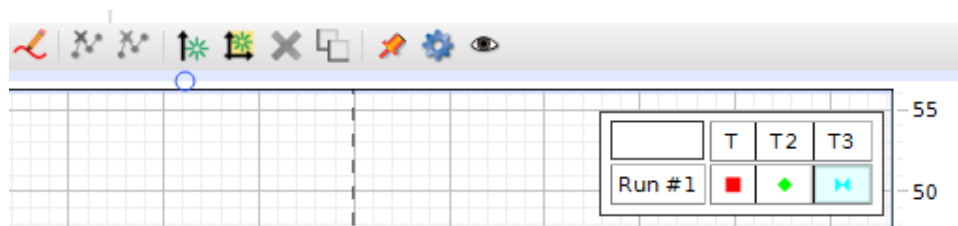


Figure 1.5: Velg et “run” av data fra symbollisten. For dette eksperimentet blir disse “runs” flere kopier av de samme dataene.

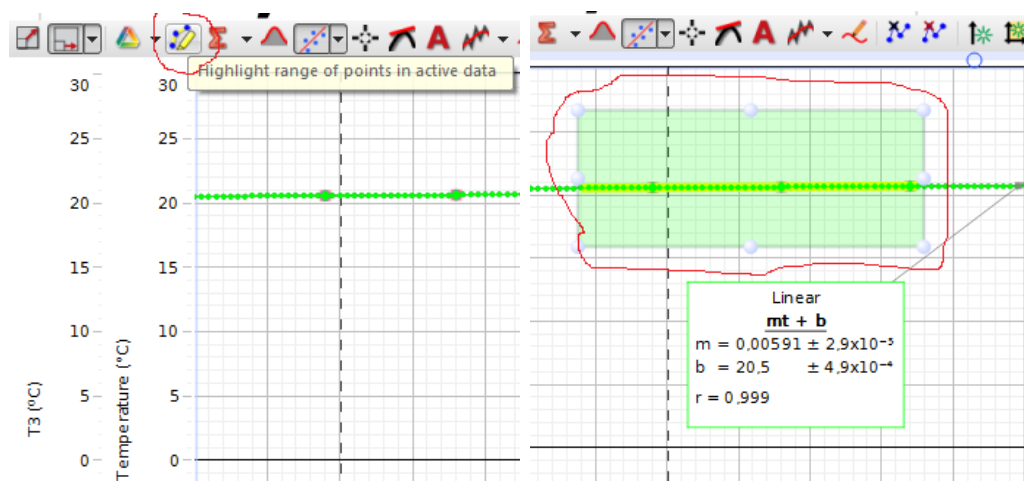


Figure 1.6: Velg de aktuelle datapunktene fra dette “run”: Klikk på Highlight-verktøyet (bilde til venstre) og juster firkanten over de datapunkter (bilde til høyre) som skal tilpasses.

Du skal utføre én tilpasning for hvert “run”. Gjenta prosedyren beskrevet i figur 1.6 for hvert “run” og ønsket tidsområde. Tilpasningsresultatet som vises på skjermen er stigningstallet og skjæringspunktet med usikkerhet og korrelasjonskoeffisienten, for hver tilpasset linje.