
INSTRUKTION FÖR LABORATION

Fasomvandling



LARS WESTERLUND, ALEXANDER ONIPKO & NILS ALMQVIST

December 2015

INSTITUTIONEN FÖR TILLÄMPAD FYSIK,
MASKIN- OCH MATERIALTEKNIK

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

Innehåll

1	INLEDNING.....	1
2	DEFINITIONER	1
3	FRÅGOR FÖR KONTROLL AV FÖRSTÅELSE	3
4	TEORIUPPGIFTER	4
5	LABORATIONSMÅL	6
6	GENOMFÖRANDE AV LABORATION.....	9
7	ANALYS AV MÄTVÄRDEN MED DATASTUDIO	12
	LABORATIONSREDOGÖRELSE TERMODYNAMIK	13

1 Inledning

I denna laboration ska fasomvandling hos vatten studeras. Uppgiften är att experimentellt bestämma värden på smältvärmets och specifika värmekapaciteten för mediet vatten samt bestämma felvisningen för temperaturgivare vid vissa temperaturer.

FÖRBEREDELSE

Repetera teorin om kalorimetri (Y&F, 17-5, 17-6, 17-7) och olika materials egenskaper (Y&F, 18-6).

Innan laborationen ska du läsa igenom laborationsinstruktionen samt gör **frågor för kontroll av förståelse 1-4** och **teoriuppgifter 1-3**. Lösningarna skall bifogas i redogörelsen.

2 Definitioner

Den *mängd värme* dQ som krävs för att höja en kropps temperatur från T till $T + dT$ är proportionell mot kroppens massa

$$dQ = cm dT. \quad (1)$$

Den temperaturberoende koefficienten $c = c(T)$, som är karakteristisk för det material som kroppen består av, kallas det *specifik värmekapacitet* för materialet ifråga. Värdet på c beror på de experimentella betingelser under vilket det mäts. Om det specifika värmets mäts under konstant tryck p , så betecknas det vanligen c_p , och om det mäts under konstant volym V så betecknas det c_v . För fasta och flytande medier $c_p \approx c_v \approx c$.

Ekvation (1) med $c = c_p$ kan användas för att beräkna värmemängden Q som krävs för att höja temperaturen under konstant tryck från T_1 till T_2 ($T_2 > T_1$).

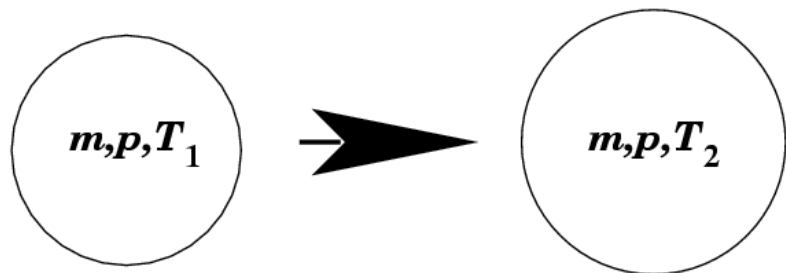


Fig. 1. En kropp med massa m ändrar temperatur (från T_1 till T_2) under konstant tryck.

$$Q = \int dQ = m \int_{T_1}^{T_2} c_p(T) dT = m \bar{c}_p \Delta T, \quad (2)$$

där $\Delta T = T_2 - T_1$, och \bar{c}_p är ett medelvärde på $c_p(T)$ inom temperaturintervallet. Värden på $c_p(T)$ finns tabellerade för

bestämda temperaturer. Ofta varierar $c_p(T)$ inte så mycket i det betraktade temperaturintervallet, dess temperaturberoende är m a o svagt. För approximativa beräkningar kan man i sådana fall använda

$$Q = mc_p\Delta T = mc_p(T_2 - T_1), \quad (3)$$

där c_p antas vara konstant inom temperaturintervallet ΔT . Vanligtvis används värde för c_p mitt i temperaturintervallet.

Man kan skriva ekvationer som motsvarar (2) och (3) för fallet då uppvärmning sker under konstant volym (genom att helt enkelt byta c_p mot c_v). Observera att man i ekv. (1), (2), och (3) kan byta m mot n , och samtidigt c , c_p (c_v) mot motsvarande molära storheter $C = Mc$, $C_p = Mc_p$ ($C_v = Mc_v$), där M är molmassan. Man räknar då mängden material som kroppen består av i antal mol i stället för i massa (vikt).

Materia existerar i en mängd olika faser, med en huvudindelning i fast-, flytande- och gasformig fas. Vid olika fasövergångar upptas resp avges värme. När m mass av ett givet material i fast fas upphettas till *smältpunkten* och smälter under konstant tryck så krävs värmemängden

$$Q = mL_f, \quad (4)$$

där L_f kallas *smältvärmes*. Smältpunkten är en konstant temperatur under fasövergången (smältningen), som är specifik för ett givet material (och givet tryck).

På liknande sätt är *ångbildningsvärmes* L_v det värme som krävs för förångning av ett 1 kg av ett material (i flytande form, under konstant tryck och upphettat till *kokpunkten*)

$$Q = mL_v. \quad (5)$$

Observera att i ekvationerna ovan definieras värmes (energin) positivt när det *tillförs materialet*, för att höja temperaturen [ekv (1)–(3)], och för att orsaka fasövergång från fast fas till vätskefas [ekv. (4)] resp från vätskefas till ångfas [ekv. (5)]. I de omvända processerna: kylning ($T_2 < T_1$), och övergång från vätskefas till fast fas resp från ångfas till vätskefas, är värmes (energin) negativt, angivande att motsvarande energimängd *bortförs materialet*. Ibland kan det finnas skäl att beteckna det till- eller bortförda värmes ΔQ .

Ordet *kalorimetri* betyder ”att mäta värme”. Denna laboration ger ett exempel på kalorimetriska mätningar och beräkningar. Kalorimetriska beräkningar bygger på en enkel princip: i ett system av två eller flera kroppar som är termiskt isolerat från omgivningen sker värmetransporter enbart mellan kropparna, så att varje mängd värme som avges av en kropp tas upp av den eller de andra kropparna. Vi låter ΔQ_i beteckna värmes som upptas eller avges av den i -te kroppen. För ett termiskt isolerat system gäller då

$$\Delta Q = \sum_i \Delta Q_i = 0 \quad (\text{eller } Q = \sum_i Q_i = 0). \quad (6)$$

Om systemet upphör att vara termiskt isolerat är HL inte längre noll utan uttrycker värmeutbytet med omgivningen:

$$\sum_i \Delta Q_i = \Delta Q_{\text{ext}} \quad (\sum_i Q_i = Q_{\text{ext}}), \quad (7)$$

där ΔQ_{ext} (Q_{ext}) definieras som värme som systemet upptar från omgivningen, och negativt ΔQ_{ext} betyder att systemet avger värme.

Genom att skriva om differentiella värmemängder till tidsderivator får man samband mellan värmeflöden

$$\sum_i H_i = H_{\text{ext}}. \quad (7a)$$

Värmeflödet, effekten som systemet upptar från omgivningen kan även uttryckas

$$\sum_i H_i = H_{\text{ext}} = H_{\text{käll}} - H_{\text{förlust}} \quad (7b)$$

om man antar att det utgör den återstående delen av en ursprunglig *källeffekt* $H_{\text{käll}}$ varav en del $H_{\text{förlust}}$ först åtgått för att värma materia utanför systemet.

3 Frågor för kontroll av förståelse

Figur 2, visar hur temperaturen hos en vattenmängd med massa m_i ändras med tiden, genom att vattenmängden tar upp värme i jämn takt, $dQ_{\text{ext}}/dt = H_{\text{ext}} = 300 \text{ W}$ (= effekt P skapad av en konstant-värmekälla, om man så vill). Från initialtillståndet för is av temperatur $T_i = -20^\circ\text{C}$ vid tiden $t = 0$ sker värmeupptagningen i följande steg:

- (a) – isen värms (temperaturen ökar), $0 \leq t \leq t_1$;
- (b) – isen smälter (övergång från fast fas till vätskefas), $t_1 < t \leq t_2$;
- (c) – vattnet (vätskefas) värms, $t_2 < t \leq t_3$; (d) – vattnet kokar (övergång från vätskefas till gasfas), $t_3 < t \leq t_4$; och (e) ångan överhettas, $t > t_4$. Beräkningar och svar på nedanstående frågor ska redovisas vid laborationen för att du ska bli godkänd.

I nedanstående uppgifter ska du först ange vilket allmänt formeluttryck, ekv. (3), (4), eller (5), som är tillämpligt i vart och ett av de fyra stegen 1 – 4, samt vilket samband med tid och effekten P (som en värmekälla förlustfritt antas tillföra vattnet) som råder. Svara sedan numeriskt, utgående från $m = 0,10 \text{ kg}$, $c_{\text{pi}} = 2200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $c_{\text{pg}} = 840 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ och med övriga erforderliga data tagna från Fysika.

Uppgift 1

Hur mycket värme ΔQ_a åtgår för att höja isens temperatur från $T_i = -20^\circ\text{C}$ till smältpunkten $T_f = 0,0^\circ\text{C}$? Hur lång tid tar det? ▲

Uppgift 2

Hur mycket värme ΔQ_b åtgår för att smälta isen vid temperatur $T_f = 0,0\text{ }^\circ\text{C}$? Hur lång tid tar det? ▲

Uppgift 3

Hur mycket värme ΔQ_c åtgår för att höja vattnets temperatur från $T_f = 0,0\text{ }^\circ\text{C}$ till kokpunkten $T_v = 100\text{ }^\circ\text{C}$? Hur lång tid tar det? ▲

Uppgift 4

Hur mycket värme ΔQ_d åtgår för att förånga vattnet vid temperatur $T_v = 100\text{ }^\circ\text{C}$? Hur lång tid tar det? ▲

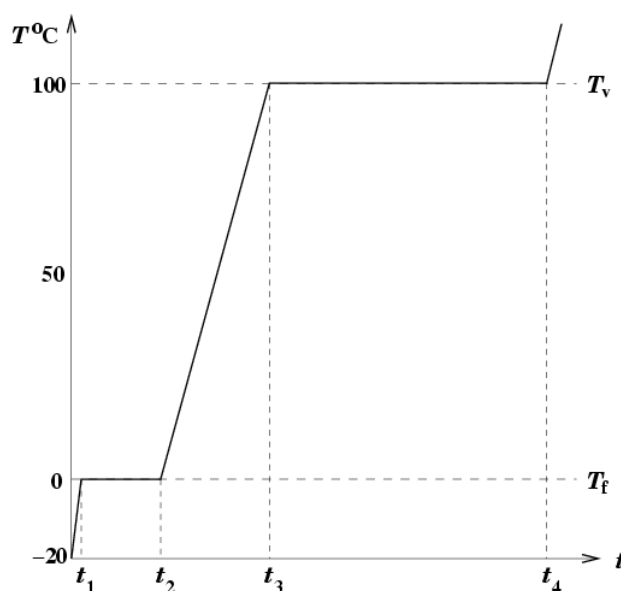


Fig. 2. Diagram visande temperaturens ändring med tiden för [en viss mängd] vatten som värms från fast inledningsfas, väl frusen is, till gasformig slutfas, överhettad ånga. Vattnet tar upp värme i jämn takt, d v s mottar en konstant effekt $H_{ext} = P$.

4 Teoriuppgifter

För att du ska bli godkänd vid laborationen ska du redovisa teoriuppgifterna nedan vid laborationstillfället. Redovisa dina beräkningar, din slutformel och ditt svar (innan avrundning med 4 siffrors noggrannhet).

1.

Ett glaskärl med vikt $m_g = 0,10\text{ kg}$ innehåller $m_v = 1,0\text{ kg}$ vatten av rumstemperatur $20\text{ }^\circ\text{C}$. Ett stycke is med vikt $m_{i1} = 0,10\text{ kg}$ tas direkt från en frys (i vilken temperaturen $-20\text{ }^\circ\text{C}$ råder) och läggs i vattnet. Vilket sluttillstånd och vilken temperatur kommer systemet (kärl +

vatten + is) att uppnå, om dess värmeutbyte med omgivningen kan anses försumbart? Antag att kärlet hela tiden har samma temperatur som vattnet. Man kan komma fram till svaret genom följande resonemang.

Värmeöverföring från vattnet (som från början har temperatur $T_{v1} = 20\text{ °C}$) till isen leder till att denna värms från sin begynnelsestemperatur $T = -20\text{ °C}$ till smältpunkten $T_f = 0\text{ °C}$ [steg (a)], isen smälter [steg (b)] och slutligen [steg (c)] värms smältvattnet (som isen omvandlats till) till sluttemperaturen T_{v2} vilken även måste uppnås av kärlet och det vatten som från början fanns i det. Vi kan välja att betrakta vårt system som bestående av två delar: del 1 är isen, del 2 är kärlet med dess ursprungliga vatteninnehåll. Enligt (3) och (4) kan värmets som isen upptar under de tre stegen (a), (b), och (c) beräknas såsom $\Delta Q_a = m_{i1}c_{pi}(T_f - T_i)$, $\Delta Q_b = m_{i1}L_f$, and $\Delta Q_c = m_{i1}c_{pv}(T_{v2} - T_f)$, där c_{pi} och c_{pv} är specifika värmet (under konstant tryck) för is resp vatten. Värmet som upptas av del 1 i systemet är således

$$\Delta Q_1 = m_{i1}c_{pi}(T_f - T_i) + m_{i1}L_f + m_{i1}c_{pv}(T_{v2} - T_f). \quad (8)$$

Samtidigt är värmets som avges av del 2 i systemet

$$\Delta Q_2 = (m_g c_{pg} + m_v c_{pv})(T_{v2} - T_{v1}) \text{ (obs } \Delta Q_2 < 0), \quad (9)$$

där $T_{v2} < T_{v1}$, och c_{pg} och m_v anger det specifika värmets för glas resp massan hos den ursprungliga vattenmängden. Ekv. (8) och (9) insatta i villkoret (6) $\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 0$ ger ett samband ur vilket den sökta temperaturen T_{v2} kan lösas

$$m_{i1}c_{pi}(T_f - T_i) + m_{i1}L_f + m_{i1}c_{pv}(T_{v2} - T_f) + (m_g c_{pg} + m_v c_{pv})(T_{v2} - T_{v1}) = 0 \quad (10)$$

Uppgift 1

Beräkna T_{v2} utgående från $c_{pi} = 2200\text{ J/(kg·K)}$, $c_{pg} = 840\text{ J/(kg·K)}$ och tabellvärden för c_{pv} , L_f , och T_f från Fysika. ▲

2.

Systemet har etablerat sin jämviktstemperatur T_{v2} . Sedan tas just så mycket is ur frysen, där temperaturen $-20,0\text{ °C}$ fortfarande råder, och läggs i kärlet att denna is med massa m_{i2} nätt och jämnt smälter. Man får vatten med sammanlagd massa $m_v + m_{i1} + m_{i2}$ som är flytande men nollgradigt, så att inte ens den allra minsta ytterligare mängd is som läggs i vattnet kommer att smälta.

Uppgift 2

Beräkna massan m_{i2} . Den kan lösas ur en ekvation motsvarande Ekv. (10). ▲

3.

Det nollgradiga vattnet i **2** får därefter jämn värmeförsörjning från en doppvärmare med effektutveckling $H_{\text{ext}} = P = 300 \text{ W}$, som sätts ned i det. Man observerar att systemets temperatur ökar linjärt med tiden (förutsatt att förluster till omgivningar kan bortses från).

Uppgift 3

Beräkna efter vilken tid t kärlet med vatten åter har samma temperatur T_{v1} som i det första utgångsläget [innan någon is lagts i; man kan säga att systemet därefter bara har ändrats på så sätt att vattenmängden blivit större, som om smältvattnet från all is värmts till T_{v1} innan det hällts i kärlet].

Genom att i ekv (7) $\sum_i \Delta Q_i = \Delta Q_{\text{ext}}$ sätta in aktuella uttryck, erhåller man ett samband ur vilket den sökta tiden t kan lösas. ▲

Svar till uppgifterna ovan:

1. $T_{v2} = 10,18 \text{ °C}$ dvs avrundas till 10 °C .
2. $m_{i2} = 0,1270$ dvs avrundas till $0,13 \text{ kg}$.
3. $t = 348,3 \text{ s}$ dvs avrundas till $3,5 \cdot 10^2 \text{ s}$.

5 Laborationsmål

I nästa avsnitt ges en detaljerad beskrivning av det tekniska utförandet. Här skall först principerna för experimenten och beräkningarna förklaras med utgångspunkt från resonemangen ovan. I tre steg, nedan betecknade **1**, **2**, och **3**, skall följande storheter bestämmas:

Mål 1: bestämning av L_f .

Detta bygger väsentligen på det förlopp som beskrivs i teoriuppgift **1**, men de numeriska värdena är förändrade. L_f beräknas ur värden på vattnets temperatur i kärlet, som registreras i realtid under hela experimentet, samt givna tabellvärden på c_{pi} , c_{pv} , och c_{pg} .

OBS:

- i) då värmetransporten mellan vatten och glasbägare är avsevärt effektivare än värmetransporten mellan glasbägare och rumsluft kan man med relativt god noggrannhet anta att glasbägarens temperatur är densamma som vattnets;
- ii) vi ser på vatten + glasbägare och isen som ett system och ansätter att systemet är isolerat, dvs inget värmeutbyte med omgivningen. I verkligheten förekommer ett litet försumbart värmeutbyte med omgivningen;

iii) specifika värmekapaciteten (c_{pv} och c_{pg}) varierar med temperaturen men förändringen är mindre än 1% inom hela temperaturintervallet. Vi antar att vi kan använda de konstanta värdena: $c_{pv} = 4190 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $c_{pg} = 840 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. Noggrannare värden på c_{pv} kan tex fås ur Nya Fysikalia tabell Th1. Vi använder även $c_{pi} = 2200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. Efter insättning av dessa samt experimentella värden kommer ekv. (6) att som enda obekant innehålla L_f , som därför kan lösas ut.

Mål 2: bestämning av c_{pv} vid rumstemperatur.

Detta bygger väsentligen på förloppet i teoriuppgift 3, med de differentiella värmemängderna i ekvation (7) skrivna såsom

$$d\sum_i Q_i = [(m_{i1} + m_{i2} + m_v)c_{pv} + m_g c_{pg}]dT = dQ_{\text{ext}}, \quad (11)$$

eller

$$[(m_{i1} + m_{i2} + m_v)c_{pv} + m_g c_{pg}] \frac{dT}{dt} = \frac{dQ_{\text{ext}}}{dt} = H_{\text{ext}} = P, \quad (12)$$

där m_{i1} och m_{i2} utgör massan av den första resp andra tillförda portionen is, medan $H_{\text{ext}} = P$ är doppvärmarens effekt. Med värdet på $\frac{dT}{dt}$ (vid rumstemperatur) bestämt ur den experimentella grafen, se nedan, kan man beräkna c_{pv} , eftersom alla andra storheter i ekvation (12) är kända.


Mål 3: bestämning av värmeförlust.

När vattentemperaturen plottas mot tiden ser man att kurvan ej är rät. Avvikelsen från den räta linjen orsakas framför allt av ökade värmeförluster till omgivningen när temperaturdifferensen glasbägare/omgivning ökar. Därmed är det möjligt att uppskatta värmeförlusterna genom att beräkna värmeupptagningen hos vårt system och jämföra med tillförd energi (via doppvärmare). Denna skillnad utgör värmeförluster till omgivningen. Ekv. (12) kan modifieras med hänsyn till värmeförluster $H_{\text{förlust}}$, [jfr hur (7a) utvecklades till (7b) med specificering av kalleffekt och förluster ovan, $H_{\text{ext}} = H_{\text{käll}} - H_{\text{förlust}} = P - H_{\text{förlust}}$]

$$[(m_{i1} + m_{i2} + m_v) c_{pv} + m_g c_{pg}] \frac{dT}{dt} = P - H_{\text{förlust}}. \quad (13)$$

Genom att sätta in värdet på $\frac{dT}{dt}$ (i närheten $T = 90^\circ\text{C}$) som fås ur den experimentella temperatur(T)-tid(t) kurvan, kan man beräkna $H_{\text{förlust}}$, eftersom alla andra storheter i (13) är kända.

6 Genomförande av laboration

- Bestäm glasbägarens vikt, våg finns i laborationslokalerna.
- Fyll bägaren med ca 0,8 liter vatten (TEMP 20-25°C) samt bestäm vattnets massa.
- Starta omrörning och anslut temperaturmätning.
- För temperaturmätningen används Xplorer GLX datalogger som kopplas till dator. Om det inte redan är gjort:
- Anslut temperaturgivaren till vänster på GLXen. Starta/logga in på datorn och starta GLXen genom att trycka på .

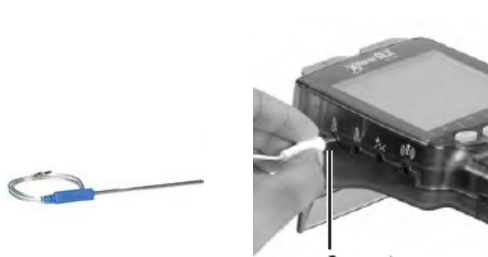


Fig. 3. Anslutning av temperaturgivare till GLX

- Om det inte är gjort, anslut GLXen via USB till datorn och starta programmet Datastudio på datorn. Ibland startar Datastudio automatiskt. Du kommer då att avläsa alla mätdata i Datastudio (på GLXens skärm syns inget. Du startar och stoppar mätningar med mätknapp  Start  Stopp i Datastudio.
- Placera temperaturgivaren i bägaren med vatten och starta mätning. Använd Datastudio på datorn för att titta på temperaturen som funktion av tid.
- I Datastudio kan du välja data och vad som ska visas (diagram, tabell etc) i menyerna till vänster. Du kan vänsterdubbelklicka på diagramaxlar etc för att ändra inställningar. Högerklicka för att ta bort mätdata etc.

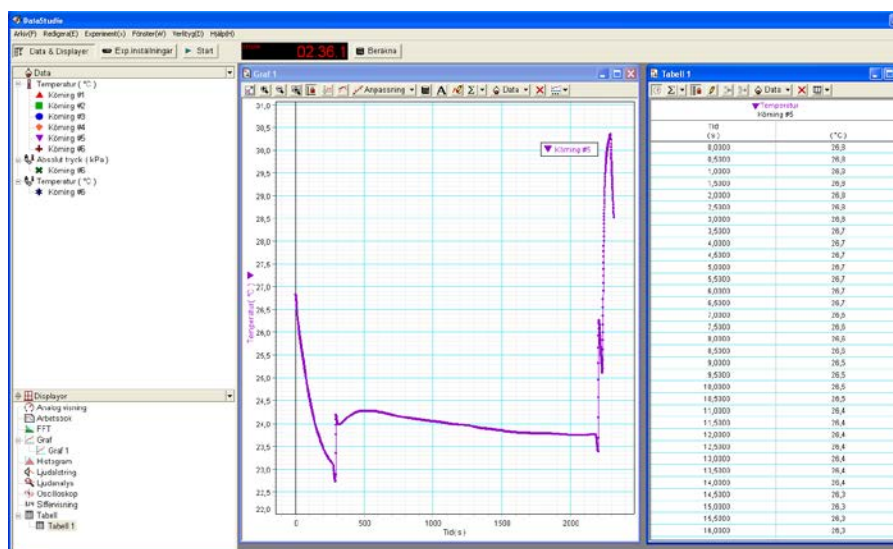



Fig. 4. Datastudio

- Vänta tills temperaturen planar ut. Du kan analysera mätdata med Datastudio (se avsnitt 7) medan mätningen pågår. Bestäm medelvärdet av temperaturen (för 30-60 s).
- Notera isens temperatur (frystemperaturen).
- Tillsätt ca 70-80 gram is (ca 4 kuber) och väg mängden före tillförsel. Väg plastbehållare före respektive efter istillförsel.
- När temp. **börjar plana ut** på en lägre nivå och all is har smält, dags att gå vidare. Bestäm temperaturmedelvärdet.
- Väg resterande is i ispåsen samt tillför den till vattnet. Väg plastbehållare före respektive efter istillförsel.
- Registrera ny konstant temperatur, **OBS** efter denna istillförsel ska is finnas kvar i is/vattenblandningen.
- Elpatron installeras och LÄRARE ansluter doppvärmare till elnätet. Doppvärmaren ska alltid vara i vattnet då den är anslutet till elnätet.
- Avläs eltillförseln på effektmätaren i elutaget då vattnet uppnått rumstemperatur (dvs ca 20 °C. Denna storhet måste avläsas och noteras manuellt.
- Vid temperaturen ca 90 °C avläses eltillförseln igen.
- Registrera temperatur när vattnet börjar koka.
- Koka i ca 3 minuter varefter strömmen bryts.
- Gör återstående beräkningar och fyll i laborationsredogörelsen (sista sidan).
- Diagram att uppvisa för läraren:
 - 1) hela experimentet,
 - 2) platåvärden före/efter 1:a istillförsel,
 - 3) felvisning vid lägsta temperatur,
 - 4) temp 10-30°C samt tillhörande ekv,
 - 5) temp 85-95°C samt tillhörande ekv.
- Din lärare meddelar om du ska göra följande:

I frysen finns en bit av en okänd metall. Bestäm specifika värmekapaciteten för denna genom att göra lämpligt experiment.

- Städa upp efter dig, logga ut från datorn och stäng av GLXen (tryck och håll inne )

7 Analys av mätvärden med Datastudio

De temperaturmätvärden som registrerats vid laborationen analyseras med hjälp av diagram. Här beskrivs analys mha Datastudio. Om du hellre vill använda Excel så går det bra men du gör det på "egen risk".

Du ska använda Datastudio (alt. Excel) för att:

- plotta diagram
- beräkna medelvärdet för vattnets temperatur efter lång tid i konstant temperatur (rumstemperatur och när isen smält).
- Beräkna lutningskoefficienten för temperatur-tid grafen vid värmning.

MEDELTEMPERATUR

Gå till Datastudio och visa mätdata som graf (gärna samtidigt också som tabell). Välj Σ , använd musen för att markera över vilket tidsintervall du ska beräkna medelvärdet av temperaturen.

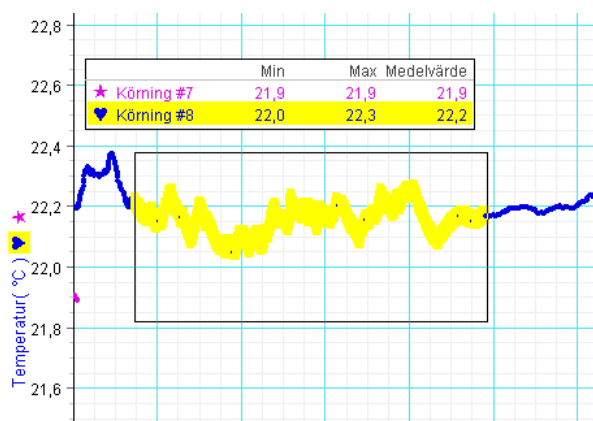


Fig. 5. Analys av temperaturmedelvärde.

LUTNINGSKOEFFICIENT VID VÄRMNING.

Lutningskoefficienten (rumstemp och 90 °C) bestäms genom att välja "Anpassning" – "Linjär Anpassning" och välja område med musen.

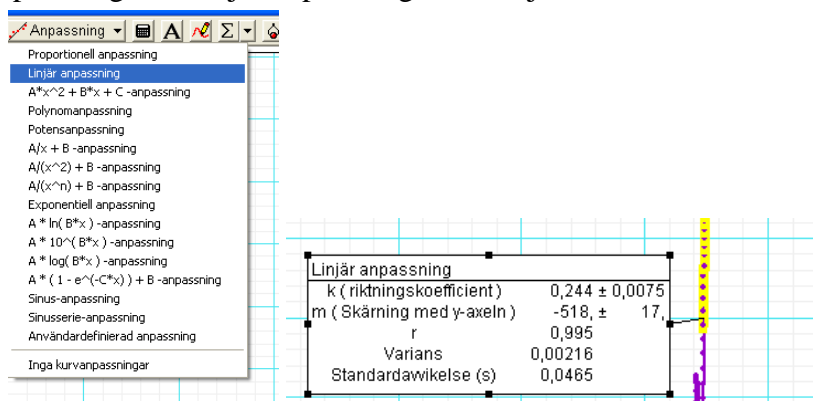


Fig. 6. Bestämning av lutningskoefficient (riktningskoefficient)..

Laborationsredogörelse Termodynamik

Klass:

Deltagare:

Datum:

Frågor för kontroll av förståelse (ska göras före laborationstillfället)

1.

2.

3.

4.

Teoriuppgifter (ska göras före laborationstillfället)

1.

2.

3.

OBS Bifoga/visa beräkningar.

MÄTVÄRDEN

Rumstemperatur (°C)	
Vattnets massa (kg)	
Vattnets starttemperatur (°C)	
Isens temperatur (°C)	
Massa första istillförsel (kg)	
Temperatur efter första istillförsel (°C)	
Massa andra istillförsel (kg)	
Temperatur is/vatten-blandning (°C)	
Eltillförsel vid rumstemperatur (W)	
Lutningskoefficient vid rumstemperatur (°C/s)	
Eltillförsel vid 90 °C (W)	
Lutningskoefficient vid 90 °C (°C/s)	
Vattnets temperatur vid kokning (°C)	

FRÅGOR ATT BESVARA

Vad är temperaturgivarens felvisning vid lägsta temp,

$$\Delta T_{\text{fel}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Vad är temperaturgivarens felvisning vid högsta temp,

$$\Delta T_{\text{fel}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Bestäm smältvärmets för vatten

$$L_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

Bestäm specifik värmekapacitet för vatten vid temperaturen $+20^\circ\text{C}$,

$$c_{pv} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Hur stora är systemets (vatten+glasbägare) värmeförluster till omgivningen vid:

en vattentemperatur lika med omgivningens temperatur:

$$H_{\text{förlust}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

en vattentemperatur av $+90^\circ\text{C}$:

$$H_{\text{förlust}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

OBS Bifoga/visa beräkningar.