Temperatur og Varme

Dag Kristian Dysthe, Anja Røyne, and Ole Ivar Ulven
Fysisk institutt, UiO
(Dated: February 11, 2013)
(Sist endret February 21, 2017)

Målene i denne oppgaven er å lære om termometri (hvordan måle temperatur) og om å måle termisk diffusivitet. Du vil også lære om å planlegge et eksperiment.

I. BAKGRUNN

Alle har et forhold til temperatur, varme og kulde. I dagligspråket bruker vi begrepene om hverandre mens i fysikken har de presis betydning definert i termodynamikken. Termodynamikk er bokholderi basert på tre grunnsetninger og etter noen hundre år med diskusjoner om hva som var bevart (kraft, energi...) så uttalte Einstein at "Termodynamikken er den eneste generelle fysiske teori som jeg er overbevist om at aldri vil bli forkastet". Siden alle de tre (empiriske) grunnsetningene omhandler temperatur og varme gjengir vi en formulering av dem:

0. **Lov. Termisk likevekt:** Hvis to termodynamiske system hver for seg er i termisk likevekt med et tredje system så er de to første i termisk likevekt med hverandre.

1. **Lov. Energibevaring:** Endringen i indre energi, U, til et system er lik summen av varmen tilført systemet, Q, og arbeidet utført på systemet, $-W$: $\Delta U = Q - W$

2. **Lov. Entropi:** Varme kan ikke spontant strømme fra et material ved lav temperatur til et material ved høy temperatur.

Det som definerer termisk likevekt i nullte lov er at temperaturen, T, til systemene er lik. Det er faktisk slik man vanligvis måler temperatur: man bringer temperaturføleren i termisk likevekt med det man vil måle og så leser man av temperaturen *til temperaturføleren.* Første lov definerer også varme: Det er transport (eller strøm) av energi (som ikke er arbeid). Temperatur er altså en tilstandsvariabel mens varme er en energistrøm. Siden der ikke finnes noen måte å måle varme direkte, så må man måle temperatur for å beregne varme. Andre lov forteller noe om hvilken vei varmen kan strømme.

A. Termometri

SI-enheten for temperatur er definert slik: *The kelvin, unit of thermodynamic temperature, is the fraction 1/273.16 of the thermodynamic temperature of the triple point of water.* Det vil si at vi vet at det finnes et absolutt nullpunkt og så definerer vi at trippelpunktet til vann er ved 273.16 K. Men det å kalibrere måleinstrumenter slik at de viser den *termodynamiske temperaturen* er ikke så lett. Vi skal nøye oss med praktisk termometri der vi antar at vi har en kalibreringskurve allerede eller vi har noe å kalibrere mot. Vi skal se på fire måleprinsipper, temperaturens effekt på:

1. væskevolum
2. elektrisk motstand
3. elektrisk potensial
4. varmestråling

De tre første typen måleinstrumenter baserer seg på at en bringer temperatursensoren i termisk likevekt med det man skal måle temperatur på. Man må ofte tenke seg godt om for å være sikker på at man oppnår det. Den siste typen måleinstrument baserer seg på å måle *strålingen fra overflaten* av et objekt.

1. *Væske i glass*

Det tradisjonelle termometeret som ikke krever strøm eller annet avlesningsinstrument enn øyet baserer seg på at væsker utvider seg når temperaturen stiger. De er praktiske i mange sammenhenger, men egner seg dårlig til å logge temperatur automatisk. Vi har ett væsketermometer med kalibreringssertifikat som dere kan få bruke.

2. *Motstandstermometre*

a. Metall Elektrisk motstand i metaller øker med temperaturen. Valenselektronene i metaller flyter omkring og "renner" i retning av lavere elektrokjemisk potensial. Det viktigste hinderet for denne strømmen er kollisjoner med metallionene. Jo mer metallionene vibrerer termisk dess mer interfererer de med elektronene og den elektriske motstanden øker. For enkelte metaller (som platina) øker motstanden nesten helt lineært med temperaturen. Derfor er platina mye brukt som temperaturfølere (ofte kalt PT100), men du kan bruke et hvilket som helst metall for å lage deg din egen temperaturføler.

b. Halvledere Det aktive elementet i termistorer som brukes til temperaturmåling (NTC) er små biter av halvledere laget av f.eks. keramiske metalloksyder eller silisium og germanium. Antallet elektroner som eksiteres til ledningsbåndet øker med temperaturen og dermed går den elektriske motstanden, R raskt ned med økende temperatur:

$$\frac{1}{T} = a + b\ln(R) + c\ln(R)^3, \tag{1}$$

der a, b og c er tilpasningsparametre i denne kalibreringsmodellen som kalles Steinhart-Hart-ligningen. Termistorer kan vanligvis ikke brukes ved temperaturer over noen få hundre grader Celsius.

3. Termoelement

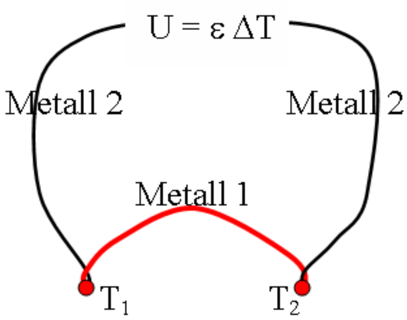

FIG. 1: Måling av temperaturforskjellen $\Delta T = T_2 - T_1$ ved å måle termospenningen $\Delta U = \varepsilon \Delta T$ mellom to metaller med kontaktpunktene ved T_1 og T_2.

Termoelektrisitet, at temperaturforskjeller fører til elektrisk potensialforskjeller og vise versa, ble oppdaget på 1800-tallet og har blitt brukt til temperaturfølere siden det. Prinsippet er at for å være i termodynamisk likevekt må to metaller (eller halvledere) i kontakt ha det samme elektrokjemiske potensialet. Siden likevekt også forutsetter lik temperatur så fører det til at der er et sprang i elektrisk potensial i kontakten mellom de fleste metaller. Dette spranget i elektrisk potensial er temperaturavhengig. For å måle dette spranget må man koble metallene til en elektrisk krets. Det vil si at en må ha minst to slike kontaktpunkter og at den termoelektriske spenningen man måler er proporsjonal med temperaturforskjellen mellom de to kontaktpunktene. Termoelementer måler m.a.o. temperaturforskjeller mellom kontaktpunkter. Hvis man setter det ene kontaktpunktet ved 0°C og bruker $\varepsilon = \partial U/\partial T$ i [V/K] så måler man temperatur i grader Celsius.

4. Strålingstermometer

Alt som har en temperatur over 0 K sender ut elektromagnetisk stråling. Varmestrømmen, dQ/dt fra en svart flate med areal A er gitt av Stefan-Boltzmanns strålingslov:

$$\frac{dQ}{dt} = I_s = A\sigma T^4, \tag{2}$$

Dette er den totale strålingen integrert over alle bølgelengder og strålingsretninger. En svart flate vil si at det er en flate som ikke reflekterer noe stråling. Stråling som treffer en virkelig flate kan gjøre tre ting: reflekteres, transmitteres eller absorberes. Det vil si at den totale strålte effekten (intensiteten) mot flaten er:

$$I = I_R + I_T + I_A \tag{3}$$

De tilsvarende fraksjonene av energi kalles reflektans, $r = I_R/I$, transmittans, $t = I_T/I$, og absorbans, $a = I_A/I$ og summen må være lik 1:

$$1 = r + t + a. \tag{4}$$

Emmissiviteten til en flate er lik absorbansen til flaten, $e = a$ og for materialer som ikke er gjennomsiktige i det aktuelle bølgelengdeområdet så er

$$1 = r + e. \tag{5}$$

Alle disse koeffisientene er generelt sett vinkelavhengige (se Fresnels ligninger for ikkeabsorberende materialer), men for små vinkler med flatenormalen er det sjelden målbart. Siden alt stråler så både sender og mottar alle objekter stråling og varmetapet kommer derfor an på temperaturen til omgivelsene, T_o:

$$\frac{dQ}{dt} = eA\sigma(T^4 - T_o^4), \tag{6}$$

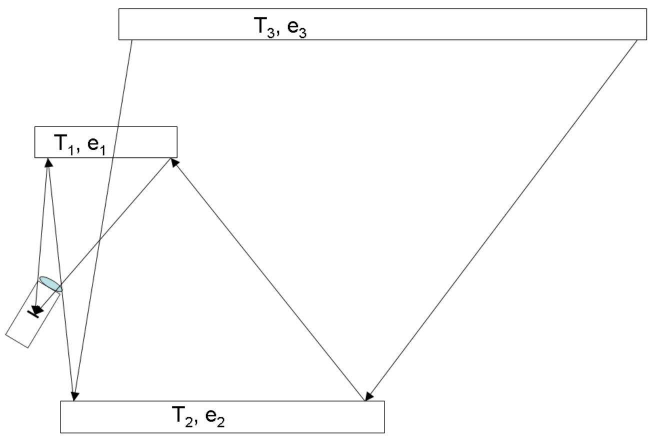

FIG. 2: Stråling som når et IR-termometer er ofte sammensatt av stråling fra mange objekter med hver sin temperatur og emmissivitet.

Et strålingstermometer er en sensor som måler innstrålt varme og bruker en kalibrert variant av ligning (6) til å beregne temperaturen til objektet som stråler inn på sensoren. De har også en linse som gjør at de tar imot stråling fra en viss romvinkel. Denne linsen har som oftest et transmisjonsbånd ett sted mellom 3 og 12 mikrometer bølgelengde. Kalibreringsligningen som brukes i instrumentet er basert på at sensoren bare mottar stråling i dette smale båndet. Det aller viktigste å huske når man bruker et strålingstermometer er at hvis en overflate er blank for ditt øye så er ofte e liten og r stor også i det bølgelengdeområdet der strålingstermometret måler. Da måler du fraksjonen e av strålt energi fra objektet og fraksjonen r av stråling reflektert fra bakgrunnen. Det er derfor avgjørende for hva du måler hva bakgrunnen er. Dette går an å korrigere for. La oss summere opp bidragene til innkommende stråling, I, på detektoren slik den er vist i figur 2:

$$I = e_1 I_S(T_1) + r_1 \left(e_2 I_S(T_2) + r_2 \left(e_3 I_S(T_3) + r_3(...)\right)\right) \tag{7}$$

Her er $I_S(T)$ den utstrålte intensiteten fra en svart kropp (som i ligning (2)) ved temperatur T over det aktuelle areal og romvinkler. De enkleste strålingstermometre har satt en fast emmisivitet, e, (vanligvis $e = 0.95$) i kalibreringsmodellen sin og neglisjerer sannsynligvis bidrag fra reflekser fra objekter ved andre temperaturer. Det vil si at de beregner en funksjon $T = g(I/e')$ der e' er den antatte emissiviteten til flate 1. I et mindre temperaturområde (50-100 K stort) kan man vanligvis linearisere: $T = T_1 + \alpha(I - I(T_1))$, der α er stigningstallet ved $T = T_1$. Dersom e_2 er stor (> 0.8) så er følgende en god approksimasjon for den målte temperaturen:

$$T = T_1 + r_1 e_2 (T_2 - T_1). \tag{8}$$

Det er også greitt å huske på at ikke alt som er gjennomsiktig for øyet ditt er gjennomsiktig for IR-stråler og vise versa.

Sensorene i de vanligste strålingstermometre er små, tynne, absorberende flater med en serie termoelementer (kalt en termokjede på norsk) som måler temperaturen til flaten relativ til en referanse inni instrumentet. Termiske kameraer derimot bruker halvlederelementer som genererer elektroner som kan avleses, omtrent som i vanlige digitale kameraer.

	$c_{p,m}$ [kJ kg^{-1} K^{-1}]	$c_{p,v}$ [J cm^{-3} K^{-1}]	λ [W m^{-1} K^{-1}]	ρ [g cm^{-3}]
Vann	4.2	4.2	0.58	1
Luft	1.0		0.024	0.0014
Al	0.9	2.4	250	2.7
Stål	0.45	3.5	50	7.8

TABLE I: Materialegenskaper for vann, aluminium og jern. De spesifikke varmekapasitetene $c_{p,m}$ og $c_{p,v}$ er henholdsvis per masseenhet og per volumenhet. λ er varmeledningsevnen og ρ er tettheten. Jeg beklager at jeg ikke har rukket å finne usikkerheten til disse tallene.

B. Varmekapasitet og varmeledning

Vi kan måle temperatur, men energien som strømmer er varme. Forholdet mellom temperaturen til en kropp og energien den inneholder i form av varme er gitt av *den spesifikke varmekapasiteten*, $c_{v/p}$. Varmekapasiteten avhenger av om kroppen tillates å utvide seg pga. temperaturendringen eller ikke, c_v er varmekapasiteten dersom volumet holdes konstant og c_p hvis trykket holdes konstant. Varmen Q som strømmer inn i en kropp med masse m mens den endrer temperatur fra T_0 til T_1 er gitt av

$$\frac{\partial Q}{\partial T} = \rho c_{v/p} \tag{9}$$

$c_{v/p}$ er materialkonstanter som ikke kan beregnes vha. termodynamikk men som må måles eller beregnes fra mikroskopiske teorier.

Klassisk termodynamikk handler kun om likevektstilstander før og etter at varme eller arbeid har gjort sitt. Ikkelikevekts termodynamikk (hvis far kan sies å være nordmannen Lars Onsager) omhandler transportprosessene og tar utgangspunkt i vår empiriske kunnskap. For varme sier den at

$$\vec{J_q} = -\lambda \nabla T, \tag{10}$$

der $\vec{J_q}$ er varmefluksen (varmeenergi transportert per tids- og flateenhet) og λ er varmeledningsevnen. Varmeledningligningen (10) sier at jo varmere ovnen er og jo nærmere du går, dess fortere blir du varm.(Dette er forøvrig et eksempel på at dagligspråket ikke alltid skiller mellom temperatur og varme.) Varmefluks kan man ikke måle direkte, så for å få et uttrykk for hvordan temperaturen varierer med tid når det strømmer varme bruker man energibevaring (kontinuitetsligningen $\partial Q/\partial t = -\nabla \cdot \vec{J_q}$) for å uttrykke:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \nabla^2 T, \tag{11}$$

der $D = \lambda/(c_p \rho)$ er den termiske diffusiviteten. Vi skal i laboratorieøvingen måle D for et metall.

1. *Å planlegge et eksperiment*

Varmeledningsevnen og varmekapasiteten til for eksempel rent aluminium er godt kjent. Kommersielt tilgjengelig aluminium, derimot, kan ha urenheter og kornstruktur som gjør at materialegenskapene er forskjellige. Dersom vi ønsker å bestemme termisk diffusivitet til en bestemt type metall på en enkel, men presis måte, må vi tenke gjennom hvordan eksperimentet bør gjøres. Det vi trenger er 1) et metallstykke i en ønsket form og størrelse 2) En måte å lage en kontrollert varmestrøm i materialet 3) temperatursensorer.

Vi tar først utgangspunkt i de 5 temperatursensorene hver gruppe har: 2 termistorer og to termoelement-kontakter, alle med en diameter på < 2 mm og et IR-termometer, alle sensorene med en nøyaktighet og presisjon på ± 0.2 K dersom man er nøye med bruken. Dersom vi ønsker å måle temperaturen på flere "punkter" i en prøve med temperaturgradienter må prøven være mye større enn sensorene i retningen til temperaturgradienten for at målingen skal være en god tilnærming til en punktmåling. Det vil si at avstanden mellom hver sensor bør være minst 20 mm.

Formen på prøven og hvordan sette opp varmestrømmen bestemmer initial- og grensebetingelsene (IB og GB) når vi skal løse diffusjonsligningen (11) for å lage en tilpasningsmodell til måledataene våre. Det er to ting som kan gjøre livet vårt lettere her: 1) Prøv å redusere problemet til å bli endimensjonalt, for eksempel at varmetransporten bare foregår i x-retning og ikke i y- og z-retning. Det er to måter å gjøre dette på: gjør x-retningen liten i forhold til y- og z-retningene og mål midt i yz-planet, eller isoler prøven i y- og z-retningene. Hvis vi skal ha 5 sensorer på linje med minst 20 mm mellom blir prøven minst 100 mm i x-retningen. Hvis prøven skal være mye større i yz-planet blir det en alvorlig stor aluminiumsklump! Vi satser derfor på å isolere godt! Varmeledningsevnen til et godt isolasjonsmateriale er omlag som den for luft, det vil si 10000 ganger lavere enn for aluminium. 2) Finn IB og GB som gir en analytisk løsning av differensialligningen. Vi finner en løsning av diffusjonligningen (11) for en uendelig lang stang $0 \leq x < \infty$ for tider $0 < t < \infty$ med IB $T(x, t = 0) = T_0$ og GB $T(0, t) = h(t)$:

$$T(x,t) = T_0 + \int_0^t \frac{x}{\sqrt{4\pi D(t-s)^3}} \exp\left(\frac{-x^2}{4D(t-s)}\right) h(s)ds \tag{12}$$

Dersom man klarer å holde konstant temperatur ved endepunktet gjennom forsøket, $h(t) = T_1$ =konstant, $\Delta T = T_0 - T_1$ så lar ligningen seg løse analytisk:

$$T(x,t) = T_1 + \Delta T \cdot \mathrm{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right), \tag{13}$$

$$\mathrm{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\kappa^2} d\kappa. \tag{14}$$

En viktig kvalitet ved denne løsningen er at de to variablene x og t nå er kombinert i en variabel: $\eta = x/\sqrt{4t}$. Det betyr at forskjellig temperaturkurver kan reduseres til en eneste kurve. Det gjenstår fortsatt en del praktiske spørsmål:

- Hvilken diameter i yz-planet er optimalt?
- Hvor lang må en stav være (i x-retning) for at vi kan regne den som "uendelig lang"?
- Hvordan skal vi sørge for å holde konstant temperatur i x=0 som grensebetingelsen grever?
- Hvordan går vi frem for å sikre at prøven tilfredsstiller initialbetingelsen, dvs lik temperatur i hele staven.

II. PRELAB

I dette avsnittet vil du finne litt informasjon som trengs for å løse prelaben.

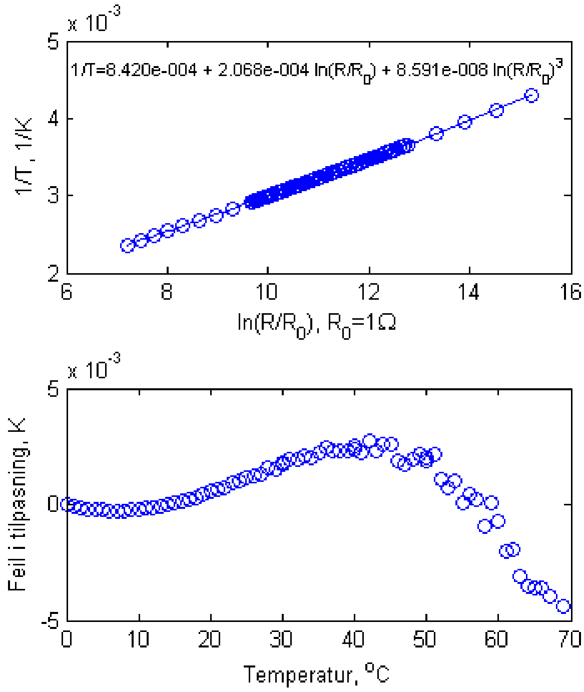

FIG. 3: Tilpasning av Steinhart-Hart-ligningen til kalibreringsdata (accucurve1.dat og accucurveW.dat) for termistorene brukt i denne labben. Nederste figur viser at avviket mellom tilpasning og data er mindre enn 0.05 K for alle temperaturer mellom 0 og 70$°C$.

Termistorene vi bruker har typebetegnelsen ACWX-007 (se `accucurve_RTI.pdf`), det vil si at $R(T = 25°\mathrm{C}) = 100k\Omega$, og avviket fra temperaturverdiene i kalibreringsdataene (accucurve1.dat og accucurveW.dat) er maksimalt $\pm 0.2°$C. Figur 3 viser resultatet av tilpasning av ligning 1 til kalibreringsdata. Figuren er resultatet av skriptet `accucurve.m`. Hvis du kjører skriptet ligger tilpasningsparametrene i variabelen `b`. Hvis du f.eks. vil se 10 gjeldende siffer av `b` skriver du `num2str(b,'%1.10d')`.

Feilfunksjonen erf(η) (ligning (14)) som inngår i løsningen (13) av diffusjonsligningen med de IB og GB vi valgte er så viktig i flere sammenhenger at Matlab har både den (`erf`) og den inverse feilfunksjonen (`erfinv`) innebygget. Det er veldig praktisk når vi har et datasett med temperaturer $T(t; x_i)$ som funksjon av tid tatt opp av sensorer

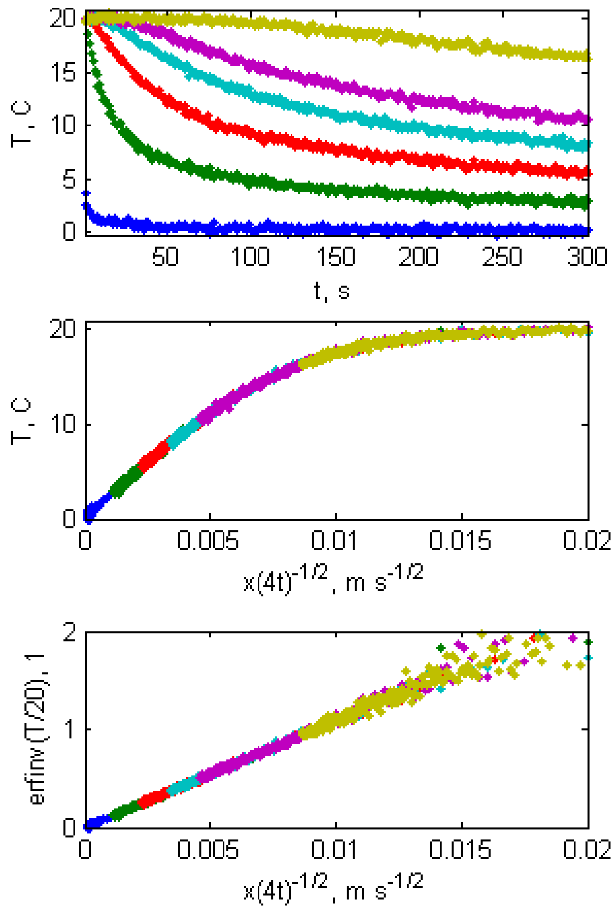

FIG. 4: Syntetisk temperaturdatasett fra et planlagt diffusjonseksperiment. **Øverst:** Temperaturer $T(t; x_i)$ som funksjon av tid tatt opp av sensorer under et varmeledningseksperiment. Sensorene var plassert i forskjellige posisjoner $x_i = \{0.3, 4, 8, 12, 16, 30\}$ cm. **Midterst:** Samme datasett som over men temperaturen er plottet som funksjon av diffusjonskoordinat $\eta = x_i/\sqrt{4t}$. **Nederst:** Invers feilfunksjon på normaliserte temperaturdata som funksjon av diffusjonskoordinat $\eta = x_i/\sqrt{4t}$. Samme datasett som over.

plassert i forskjellige posisjoner x_i som i figur 4. Dersom man i ligning (13) flytter T_1 og ΔT over på venstre side kan man ta den inverse feilfunksjonen erf^{-1} på begge sider av ligningen og få:

$$\mathrm{erf}^{-1}\left(\frac{T(x_i,t)-T_1}{\Delta T}\right) = D^{-1/2}\cdot\eta, \qquad \eta = \frac{x_i}{\sqrt{4t}}. \quad (15)$$

III. LABORATORIEØVING

A. oppgave: Termoelement og termistor

a. Målinger Hver gruppe har fått et termoelement av type T (kopper og konstantan) der koppertråden er koblet til bananbøssinger og to ender er tvunnet sammen til en kontakt mellom kopper og konstantan. Dere skal bruke et labmultimeter til å måle termospenningen, ΔU. Hver gruppe har fått to termistorer. Dere skal bruke to håndholdte multimetre til å måle motstanden, R_T. Husk at dere måler temperatur i sensoren og at termisk likevekt med det dere ønsker å måle temperaturen til er avgjørende. Bruk varmeledingspasta, men pass på å tørke opp alt søl underveis og etterpå.

- Lag to hull med en loddebolt på oversiden av en isbit. Stikk endene av termoelementet ned i hver sitt hull. Mål termospenningen, ϵ_T. Hva forventer du? Hva måler du?
- Fest den ene enden til den kubiske aluminiumsklossen montert på bordet med modellkitt og evt. tape mens den andre enden forblir i isbiten. Mål termospenningen. Endrer den seg med tid? Hvorfor?
- La den ene enden av termoelementet forbli klistret på aluminiumsklossen.
- Fest to termistorer til den kubiske aluminiumsklossen med modellkitt og evt. tape. Mål motstandene, R_T. Hvor lang tid tar det før målingene stabiliserer seg? Har de to termistorene den samme motstanden?
- Når alle avlesninger har stabilisert seg, mål R_T og mål ϵ_T mellom aluminiumskloss og isbit igjen.
- La en av termistorene forbli klistret til aluminiumsklossen.

b. Beregninger

- Skriptet `type_t.m` plotter standarddata for type T termoelementer fra NIST. Bruk denne kurven til å lage en funksjon $T(\epsilon_T)$. Produsenten av termoelement-tråden leverte en kalibreringsanmerkning: "Wire had a deviation of -0.6F at 212F". Medfører det en signifikant korreksjon til temperaturfunksjonen deres, $T(\epsilon_T)$?
- Beregn temperaturen til aluminiumsklossen fra den målte termospenningen.
- Dere har i prelab-en laget deres eget lille Matlabskript for å beregne temperatur som funksjon av motstanden, $T(R_T)$ til termistorene. Finn temperaturen til aluminiumsklossen målt med de to termistorene.

- Stemmer $T(R_T)$ og $T(\epsilon_T)$ overens? Kommentar?
- Hva er nøyaktighet, presisjon og hovedfeilkilder til disse målingene?

B. oppgave: IR-termometer

Dere skal bruke et IR-termometer til å måle temperaturen til forskjellige ting i rommet. Blant annet skal dere bruke Leslie's kube som har stabil temperatur og fire overflater med forskjellig emmissivitet. Temperaturen til Leslie's kube måles med en termistor som kan avleses med et multimeter. Kalibreringskurven er angitt på kuben og i databladet på kursets hjemmeside (`.../kursmateriell/`).

- Bruk IR-termometret til å måle temperaturen i rommet. Dere må selv definere målingen deres. Noter bl.a. hva dere måler på og hvordan (avstand og vinkel).
- Mål temperaturen til aluminiumsklossen med IR-termometret mens dere varierer vinkel, avstand og "reflektert bakgrunn". Stemmer målingene med termistormålingen av temperaturen til aluminiumsklossen? Hvorfor/ hvorfor ikke?
- Mål temperaturen til Leslie's kube med den innebygde termistoren og med IR-termometeret på hver av de fire flatene. Gi en kvalitativ forklaring av resultatene. Kan du bestemme emmisiviteten kvantitativt?
- Bruk den matte flaten på Leslie's kube, de termistorer og ligning 8 til å beregne emmisiviteten til den (blanke) kubiske aluminiumsklossen. Anta at emmissiviteten til den matte, svarte flaten på Leslie's kubeer omtrent 0.95.
- Kommenter feilkilder og usikkerheter.

C. Varmeledning i en metallstang

Nå skal dere måle termisk diffusivitet i en metallstang. Teorien er allerede kjent, og dere har gjort noen beregninger på lignende data i prelaben. Det er viktig at dere tenker nøye gjennom hvordan dere skal gjøre forsøket før dere starter, for det tar lang tid før dere kan gjenta det hvis noe skulle gå galt. Det kan også bidra til store usikkerheter. Når dere tar i stanga, så husk at fingrene deres er varme.

- Noter posisjonene til hullene der temperatursensorene er plassert (det ligger en stang med hull i de samme posisjonene på arbeidsbenken).
- Mål motstand til referansemotstanderne.

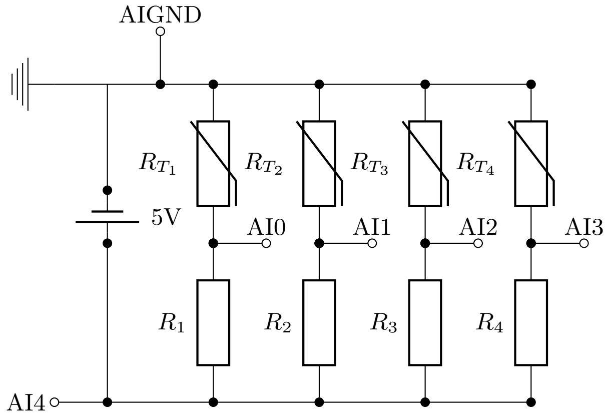

FIG. 5: Kobling på breadboard for spenningskilde (5 V), referansemotstander R_1-R_4, termistorer R_{T_1}-R_{T_4}, og inngangene AI0-AI4 til NI USB-6211 til i Oppgave III C

- Koble termistorene til breadboardet, koble opp referansemotstander, utspenning og alle innspenningene til akvisisjonsboksen NI USB-6211.
- Last ned dataloggins-skript `les_RT.m` fra kursets hjemmeside og sett inn de målte verdiene for R_{1-4}.
- Kjør korte tester (uten is!) for å forsikre at koblingen er riktig.
- Start dataloggingen med en varighet på 10 minutter og la den gå en stund før dere legger isen på (starten på eksperimentet). Forsikre dere om at temperaturen i staven er homogen og stabil før isen legges på. En tung gjenstand "henges" på isen for å lage en rimelig stor og stabil trykk mellom isen og metallstaven.
- Lagre dataene.
- Beregn termisk diffusivitet for metallstaven.
- Var usikkerhetene mest påvirket av tilfeldige eller systematiske feil?
- Hvordan ville du endre designen på eksperimentet for å få enda mer nøyaktige og presise resultat?

IV. UTSTYRSLISTE

- Væsketermometer med kalibreringssertifikat
- Termoelement
- To termistorer
- To håndholdte multimetre
- En multimeter av typen Fluke 45
- Loddebolt

- Isbiter
- Modellkitt
- Tape
- IR-termometer
- Leslie's kube
- Breadboard
- Akvisisjonsboks NI USB-6211
- Løse ledninger
- Metallstav med isolasjon og isbitholder
- Tommestokk

V. PRELABOPPGAVER

A. Informasjon

Last ned filene i oppgavens mappe på kursets hjemmeside før du begynner å løse oppgavene.

B. Oppgavene

Om temperaturfølere

1. Hvordan endres motstanden i de fleste halvledere med temperaturen?
   1 poeng

   A. motstanden stiger med stigende temperatur
   B. motstanden synker med stigende temperatur

2. Hvordan endres motstanden i de fleste metaller med temperaturen?
   1 poeng

   A. øker logaritmisk
   B. øker eksponentielt
   C. synker lineært
   D. øker lineært
   E. synker logaritmisk
   F. synker eksponentielt

3. Hvordan endrer termospenningen seg i et termoelement?
   1 poeng

   A. lineært med temperaturen i kontaktpunktene
   B. logaritmisk med forskjellen i temperatur mellom kontaktpunktene
   C. omtrent lineært med forskjellen i temperatur mellom kontaktpunktene

Termistorer

4. Lag en Matlab-funksjon som bruker ligning 1 til å beregne temperaturen i grader Celsius for en vektor av motstandsverdier R. Kall den termistortemp.m og la første linje i den være "function T=termistortemp(R)". Siste linje i den bør være "T=..." der du setter inn tilpasningsligningen med riktige parametre istedet for "..." Bruk kalibreringskonstantene i figur 3 i oppgaveteksten i Steinhart-Hart-ligningen. Lim inn innholdet i funksjonen termistortemp.m:
   2 poeng

5. Hva er temperaturen (i grader Celsius) til termistoren når motstanden er 1MOhm ?
   1 poeng

A. -23.7
B. -18.4
C. -34.5
D. 7.65
E. 14.3

6. Hva er temperaturen (i grader Celsius) til termistoren når motstanden er 20kOhm?
1 poeng

A. 63.2
B. 54.1
C. 46.9
D. 73.3
E. 34.6

7. Hvor er følsomheten til termistoren størst: ved lave eller høye temperaturer?
2 poeng

A. Ved høye temperaturer
B. Ved lave temperaturer

Temperatur og varme

8. Et termopar (metall A og B) har kalibreringskurven som vises når du kjører skriptet type_t.m. Hvor stor spenning måler du med dette termoparet når kontaktpunktene er ved 0C og 20C?
1 poeng

A. 0.79 mV
B. 0.98 mV
C. 0.95 mV
D. 0.84 mV
E. 1.03 mV

9. Et termopar (metall A og B) har kalibreringskurven som vises når du kjører skriptet type_t.m. Hvor stor spenning måler du med dette termoparet når kontaktpunktene er ved 15C og 22C?
1 poeng

A. 0.12 mV
B. 0.27 mV
C. 0.18 mV
D. 0.23 mV
E. 0.34 mV

10. Et termopar (metall A og B) har kalibreringskurven som vises når du kjører skriptet type_t.m. Hvor stor er følsomheten, dU/dT, til dette termoparet?
1 poeng

A. 0.04 mV/C
B. 0.01 mV/C
C. 0.06 mV/C
D. 0.40 mV/C
E. 0.60 mV/C

Strålingstermometer

11. Se på Figur 2 i oppgaveteksten og la $e_1 = 1.0$, $e_2 = 1.0$, $e_3 = 0.5$, $T_1 = 20C$, $T_2 = 60C$ og $T_3 = 20C$. Hvilken temperatur vil du måle med strålingstermometeret?
1 poeng

A. 22 C
B. 33 C
C. 25 C
D. 40 C
E. 20 C

12. Se på Figur 2 i oppgaveteksten og la $e_1 = 0.5$, $e_2 = 1.0$, $e_3 = 0.5$, $T_1 = 20C$, $T_2 = 60C$ og $T_3 = 20C$. Hvilken temperatur vil du måle med strålingstermometeret?
1 poeng

A. 40 C
B. 33 C
C. 20 C
D. 25 C
E. 45 C

13. Se på Figur 2 i oppgaveteksten og la $e_1 = 0.5$, $e_2 = 1.0$, $e_3 = 0.5$, $T_1 = 20C$, $T_2 = 60C$ og $T_3 = 200C$. Hvilken temperatur vil du måle med strålingstermometeret?
1 poeng

A. 93 C
B. 20 C
C. 80 C
D. 40 C
E. 60 C

14. Du kan måle $T_1 = 20C$ og $T_2 = 60C$ med termistorer og måler $T_1 = 50C$ med strålingstermometeret. Hvis du antar at $e_2 \approx 0.9$ hva er da e_1?
2 poeng

A. 0.14
B. 0.17
C. 0.11
D. 0.21
E. 0.24

Varmeledning

15. Hva er måleenhenten til termisk diffusivitet, D?
1 poeng

A. $m^2 s^{-1}$
B. $m s^{-1}$
C. $m^2 s$
D. $s^2 m^{-1}$
E. $m^2 s^{-2}$

16. I filen 'datasett.mat' ligger det data tatt opp under en måling av varmeledning tilsvarende det dere skal gjøre i oppgave 3. Første kolonne er $\eta = x\_i/sqrt4t$ slik som beskrevet i oppgaveteksten, og andre kolonne er den inverse feilfunksjonen erfinv$((T - T_1)/\Delta T)$. Plot den inverse feilfunksjonen mot η (de vil ikke være helt linære på grunn av unøyaktigheter ved forsøket dataene er tatt fra). Gjør en linærtilpasning for å finne stigningstallet a til grafen, og finn feilen i tilpasningen. Bruk gjerne skriptene du lagde før øving 3 til dette. Hva finner du?
1 poeng
A. $a = 246.2 \pm 3.3$
B. $a = 97.3 \pm 2.7$
C. $a = 156.2 \pm 1.9$
D. $a = 265.9 \pm 2.2$

17. Bruk ligning (15) i oppgaveteksten til å finne den termiske diffusiviteten D ut i fra stigningstallet a. Anta at du kun trenger å tenke på usikkerheten i lineærtilpasningen når du beregner usikkerheten.
1 poeng
A. $(1.41 \pm 0.02) \times 10^{-5}$
B. $(1.414 \pm 0.006) \times 10^{-5}$
C. $(1.41 \pm 0.01) \times 10^{-5}$
D. $(3.73 \pm 0.04) \times 10^{-3}$
E. $(3.73 \pm 0.07) \times 10^{-3}$