

Wiedemann-Franz' lov

I metaller er varmeledning primært båret af elektroner. Det medfører, at den termiske ledningsevne og den elektriske konduktivitet er relaterede. Denne sammenhæng er kendt som Wiedemann-Franz' lov.

Formålet med dette forsøg er at måle termiske og elektriske egenskaber for nogle metaller med rimelig stor nøjagtighed. I del A skal du måle den elektriske ledningsevne for kobber, messing og aluminium. I del B skal du måle kobbers varmeledningsevne. I del C skal du måle kobbers specifikke varmekapacitet. I del D skal du måle messings og aluminiums varmeledningsevne. Til slut skal du i del E eftervise den generelle relation mellem de fysiske egenskaber for de metaller, du har undersøgt.

I dette forsøg skal du ikke beregne usikkerheder for dine resultater.

Bemærk, at der er en ventetid på **15 minutter** i del B og i del D. Tag højde for dette i planlægningen af din tid.

Sikkerhedsinstruktioner

Tilslut ikke nogen ledninger eller uautoriserede instrumenter direkte til de eksterne 220V/25A stikkontakter. Du må kun tilslutte de forsynede strømkilder uden at foretage ændringer ved den eksterne stikkontakt.

Udstyrsliste

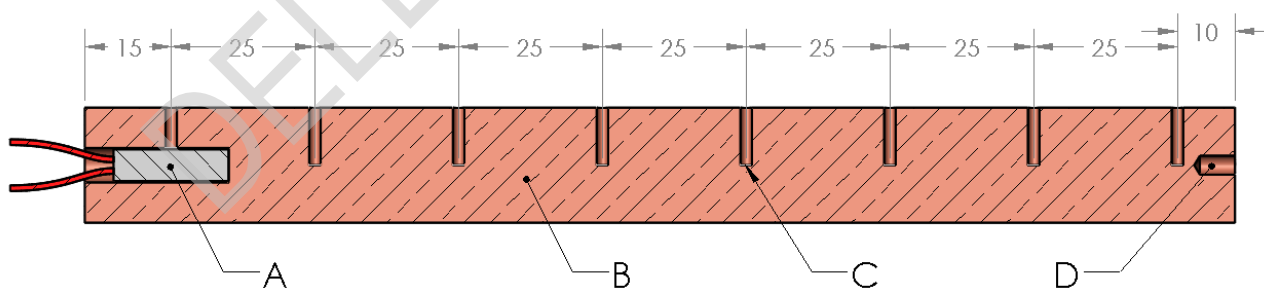


Figur 1

1. **Kobber:** Hult cylindrisk kobberrør, 200,0 mm i længden, indre diameter 6,0 mm udvendig diameter **20,0 mm**.
2. **Messing:** Hult cylindrisk messingrør, 200,0 mm i længden, indre diameter 6,0 mm udvendig diameter **19,0 mm**.
3. **Aluminium:** Hult cylindrisk aluminiumrør, 200,0 mm i længden, indre diameter 6,0 mm udvendig diameter **20,0 mm**.

4. En lille permanent magnet med massen 1.2 gram.
5. Vandreservoir - en specialdesignet gryde, med det oprindelige formål at tilberede den lokale ret "Jach-un" - en slags israelsk bagværk. Grydelåget indeholder en varmeudveksler under overfladen og en skrue på toppen. Der er 4 liter vand (2 stk. 2 liter flasker) til at fylde reservoiret.
6. Stang #1 (markeret med "Rod #1") - en kobberstang med diameter 20.0 mm med termometre (forbundet til et stik) og et indbygget varmeelement (forbundet til de røde ledninger - se figur 2.a). De røde ledninger skal forbindes til en DC strømkilde (punkt 15 nedenfor) gennem et kredsløb. Stangen er indsvøbt i sort isolerende skum.
7. Stang #2 (markeret med "Rod #2") - en sammensat stang med diameter 20.0 mm med termometre (forbundet til et stik) og et indbygget varmeelement (forbundet til de røde ledninger - se figur 2.b). De røde ledninger skal forbindes til en DC strømkilde (punkt 15 nedenfor) gennem et kredsløb. Stangen er indsvøbt i sort isolerende skum.
8. Hætte af termisk isolerende skum.
9. 12V DC strømkilde til digital måleboks.
10. Digital måleboks. Denne boks viser målingerne fra de 8 termometre og tiden. Se instruktionerne nedenfor. Boksen kan også bruges som stopur.
11. Termometerkabel der forbinder termometrene på stangen til den digitale måleboks.
12. Voltmeter - voltmeters drejeskive skal sættes til 20 volt DC (Figur 3).
13. Amperemeter - amperemeters drejeskive skal sættes til 10 ampere DC (Figur 3).
14. Ledninger
15. 9V DC strømkilde til varmeelementet forbundet til bananstik.

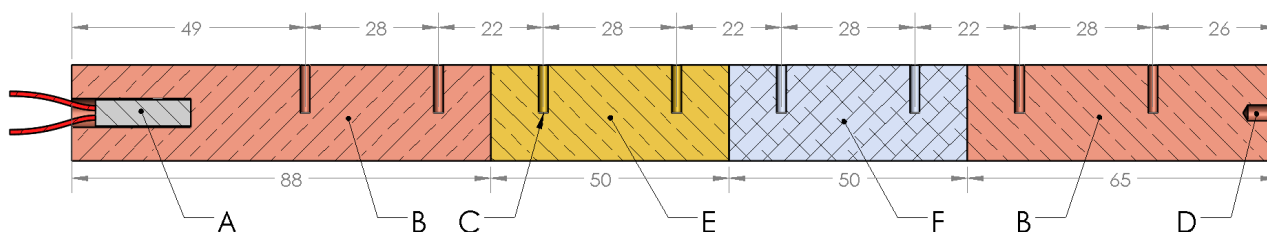
ADVARSLER: 1 Kun strømforsyningerne (med normale stikkontakt-stik) må sættes til stikdåsen. Det er strengt forbudt at stikke andre ledninger i - hvilket kan medføre livsfare! 2. Dyp ikke dine stænger i vandet.



Figur 2.a - Skitse af stang #1.

Længderne er angivet i mm med en nøjagtighed på 0.1mm.

(A) Varmeelement forbundet til de røde ledninger. (B) Kobberstang. (C) 8 termometre, der hver er markeret med et indhak. (D) Hul med gevind til fastskriving på toppen af vandreservoiret.



Figur 2.b - Skitse af stang #2.

Længderne er angivet i mm med en nøjagtighed på 0.1mm. (A) Varmeelement forbundet til de røde ledninger. (B) Kobberstang. (C) 8 termometre, der hver er markeret med et indhak. (D) Hul med gevind til fastskrining på toppen af vandreservoir. (E) Messingstang. (F) Aluminiumstang.



Figur 3 - Amperemeter og voltmeter

(1) Drejeskiven er sat til 10 A som den skal være i eksperimentet. (2) Indgangene der bruges på amperemetret. (3) Drejeskiven er sat til 20 V som den skal være i eksperimentet. (4) Indgangene der bruges på amperemetret.

Brugsanvisning for den digitale måleboks

Forbind den digitale måleboks til dens 12 V strømforsyning.

Den digitale måleboks har to funktioner, den kan virke dels som et stopur og dels som fremviser af målingerne fra termometrene. Når termometerkablet er tilsluttet til den digitale måleboks, vil den automatisk fremvise temperaturmålingerne. Når temperaturkablet frakobles, vil den automatisk virke som et stopur, og der vil stå "Timer mode".

Temperaturfunktionen:

- Tryk, og hold den røde knap nede i 3 sekunder for at nulstille tiden.
- Et kortvarigt tryk på den røde knap vil fastfryse de fremviste temperaturer samt tidsmålingen (uret vil fortsat tælle videre fra sidste nulstilling uden at vise det).
- Endnu et tryk vil få måleboksen til igen at vise temperaturer og tiden i realtid.

Stopursfunktionen:

- Tryk på den røde knap for at starte tidstagningen.
- Tryk igen for at stoppe tidstagningen.
- Tryk endnu en gang for at nulstille stopuret.

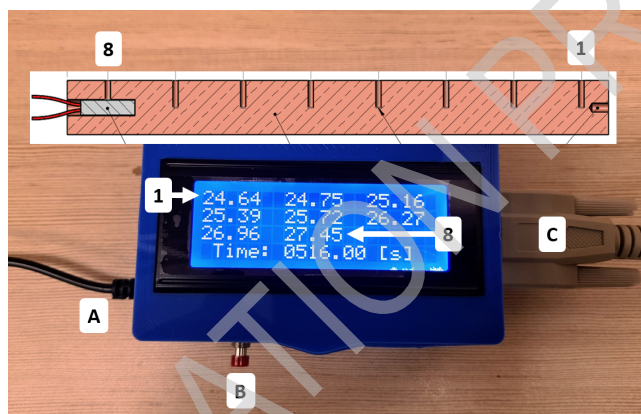
Den digitale måleboks skal kalibreres til hver stang før den benyttes første gang! Termometrene der bruges i forsøget er ikke helt identiske. Derfor skal du kalibrere dem, så du får samme måling fra alle sensorer, mens stangen er i termisk ligevægt.

For at kalibrere stangen: Forbind først en ende af termometerkablet til stangen. Derefter, tryk og hold den røde knap nede, mens du forbinder den anden ende af termometerkablet til den digitale måleboks.

Kalibreringen forsvinder ikke, hvis måleboksen afkobles fra termometerkablet eller strømforsyningen.

ADVARSEL: Kalibrer måleboksen **FØR** du forbinder stangen til reservoiret eller tilslutter varmeelementet til strømforsyningen for at sikre dig, at stangen er i termisk ligevægt under kalibreringen.

Hvis du oplever problemer med måleboksen, kan det hjælpe at fra- og gentilkoble dens strømforsyning. Den vil huske den sidste kalibrering.



Figur 4 - den digitale måleboks
(A) 12 V DC strømforsyningskabel. (B) Multifunktionel rød knap. (C) Termometerkabel. (1-8) Målingerne af temperaturen (i Celsius) listet i normal læseretning svarende til den vandrette position af termometrene i stangen.

Del A: Elektrisk konduktivitet af kobber, aluminium og messing (1.5 point)

Teori

Når en permanent magnet falder igennem et ledende hult, cylindrisk rør, vil magneten opleve en modstandskraft fordi den inducerer elektriske hvirvelstrømme i røret. Derfor vil magneten opnå en terminal hastighed. I denne situation vil magnetens terminalhastighed være beskrevet ved ligningen:

$$v_{\text{terminal}} = \frac{8\pi m g a^2}{\mu_0^2 (\pi r_m^2 M)^2 \sigma w f\left(\frac{d}{a}\right)} \quad (1)$$

Her betegner m massen af magneten, σ betegner den elektriske konduktivitet af materialet, som røret er lavet af, a betegner rørets indre radius, r_m og d betegner henholdsvis magnetens radius og højde, M betegner magnetiseringen af magneten, w betegner tykkelsen af røret og $f\left(\frac{d}{a}\right)$ er en skaleringsfunktion. I dette problem gælder det, at $a \approx r_m$, $d = 2r_m \approx 2a$ og $f(2) \approx 1.75$. Derfor vil tiden, det tager magneten



at falde igennem røret, tilnærmelsesvist være givet ved:

$$t = 0.22 \frac{\pi r_m^2 (\mu_0 M)^2 w L_0}{mg} \sigma. \quad (2)$$

Her betegner $L_0 = 0.2$ m længden af røret. Vi har antaget at magneten opnår sin sluthastighed umiddelbart efter at den forlader sin startposition.

Størrelserne der skal bruges i beregningerne, er i dette problem givet ved:

$\mu_0 M = 0.65$ T, $w_{\text{aluminium}} = w_{\text{kobber}} = 7.0 \times 10^{-3}$ m, $w_{\text{messing}} = 6.5 \times 10^{-3}$ m, $m = 1.2 \times 10^{-3}$ kg, $r_m = 3.0 \times 10^{-3}$ m, $g = 9.8$ m/s²



Eksperiment

A.1 Mål den tid det tager magneten at falde gennem det hule rør lavet af aluminium, det hule rør lavet af kobber og det hule rør lavet af messing, ved at bruge den digitale måleboks, sat til stopurfunktionen. Skriv dine målinger ned i tabel A1. 1.0pt

A.2 Find den elektriske konduktivitet af hver af de tre materialer $\sigma_{\text{aluminium}}$, σ_{kobber} , σ_{messing} ved at bruge ligningen fra teori-delen. 0.5pt

Del B: Varmeledningsevnen af kobber (3.0 point)

Formålet med del B er at måle varmeledningsevnen af kobber i en situation, hvor kobberet næsten er i termisk ligevægt.

Teori

Varmeledningsevnen κ for et materiale er defineret ved hjælp af ligningen $P(x) = -\kappa A \cdot \frac{\Delta T(x)}{\Delta x}$. Denne ligning beskriver en lineær sammenhæng mellem den lokale temperaturgradient og den lokale energi-strøm per tid (eller effekt), som transporteres gennem et tværsnit af et materiale. Her beskriver $P(x)$ effekten, som transporteres gennem et tværsnit ved positionen x , A betegner tværsnitsarealet af materialet, tværsnitsarealet af røret i vores eksempel og $\Delta T(x) / \Delta x$ betegner temperatur-gradienten ved positionen x .

Eksperiment

Tilslut den digitale måleboks til den eksterne stikkontakt og kalibrer termometrene i stang #1. Hæld 4 liter vand (2 flasker) ned i gryden, sådan at varmeudveksleren vil blive helt dækket af vand, og sæt låget på gryden.

B.1 Angiv den begyndelsestemperaturen af stang #1, når stangen er placeret på bordet. 0.1pt

Tag termometerkablet ud af kontakten i stang #1. Fjern hættten af det termisk isolerende materiale og skru stang #1 fast på grydelåget. Tilslut nu termometerkablet igen som vist på figur 5. Vær forsigtig med ikke at vride stangen for hårdt.



Figur 5

- B.2** Tegn et diagram af et kredsløb, som vil kunne levere en elektrisk effekt til varmeelementet og gøre det muligt at måle denne effekt. Dit kredsløb skal indeholde følgende ting: 9V strømkilde, varmeelement (er allerede sat ind i stangen), voltmeter, amperemeter og ledninger. Du kan bruge ledninger som en kontakt der kan åbne og lukke kredsløbet. 0.5pt

Varmedningsevnen af stangen måles ved at opvarme den ene ende af stangen med konstant effekt fra varmeelementet, mens den anden ende af stangen bliver holdt ved en næsten konstant temperatur af vandreservoiret.

Du skal prøve at opnå en tilnærmelsesvis termisk ligevægtssituation, hvor temperaturen ved termometrene ikke ændrer sig. Opstil dit kredsløb fra spørgsmål 2.B og sæt strøm til varmeelementet.

- B.3** Lav de nødvendige målinger, for at angive den leverede effekt P til varmeelementet og udregn effekten i svararket. 0.1pt

Vent 15 minutter mens der bliver leveret effekt til varmeelementet (du kan bruge tiden på at planlægge dine næste eksperimenter).

- B.4** Angiv i svararket temperaturmålingerne for alle 8 termometre henholdsvis 15 minutter, 17.5 minutter og 20 minutter efter at varmeelementet begyndte at levere effekt til stangen. 0.5pt

- B.5** Tegn på et enkelt udleveret grafark 3 grafer, som angiver temperaturen af stangen som funktion af positionen i stangen, for hver af tiderne givet i forrige spørgsmål. Disse grafer skal også blive brugt i del D. 1.0pt

- B.6** Brug din graf til at udregne varmedningsevnen af kobber κ_0 ved hjælp af dine data, der blev målt ca. 17.5 minutter efter at varmeelementet begyndte at levere varme. Se bort fra al tab af varmeenergi fra stangen til omgivelserne, ud over det som havner i vandreservoiret. Estimér også den gennemsnitlige ændring af stangens temperaturtilvækst per tid $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ ca. 17.5 minutter efter at varmeelementet begyndte at levere varme. 0.5pt

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.7 | Forventer du, at værdien for kobbers varmeledningsevne κ_0 , som du har målt, er større / mindre / lig med den rigtige værdi for kobbers varmeledningsevne κ ? | 0.3pt |
|------------|--|-------|

Del C: Estimér rørets tab af varmeenergi samt dets varmekapacitet (4.0 point)

Teori

Varmekapaciteten C af et materiale kan defineres ved hjælp af hver af de følgende ligninger:

$$\Delta Q = C \Delta T, \quad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right). \quad (3)$$

Her betegner $\Delta Q / \Delta t$ den totale varmeenergitransport til materialet per tid og $\Delta T / \Delta t$ betegner temperaturændringen af materialet per tid. Den specifikke varmekapacitet c_p er lig varmekapaciteten per masseenhed for materialet. Antag at massen af kobberrøret er 0.58 kg.

Eksperiment

Afbryd strømforsyningen til varmeelementet. Skil kredsløbet ad, skru stang #1 af grydelåget og læg den på bordet. Sæt hættten af det isolerende materiale fast på stangen igen, sådan som det var sat på, før du startede på eksperimentet. Vær klar til at tilslutte varmeelementet til strømforsyningen igen, og tilslut atter den digitale måleboks til stangen.

ADVARSEL: Du må ikke have varmeelementet tilsluttet til strømforsyningen i længere tid uden at overvåge temperaturen.

Vi kan udregne både varmeenergitalbet per tid og varmekapaciteten for stangen, når stangens temperatur er tæt på den temperatur, stangen havde i del B. Dette gøres ved at udføre en sekvens hvor stangen først bliver kølet, så opvarmet og så kølet igen. Opvarmningsdelen af sekvensen bør øge stangens gennemsnitstemperatur med cirka 2.5°C. Den nødvendige præcision af dette forsøg kan opnås med en køle-opvarmning-køle sekvens med en samlet længde på 10 - 15 minutter.

Du skal tilstræbe at arbejde nær gennemsnitstemperaturen for den tilnærmelsesvis ligevægtsituation fra del B.

Vi vil holde styr på gennemsnitstemperaturen af stangen for at tage højde for den totale varmeenergi lagret i stangen. Temperaturen i stangens midtpunkt er en god tilnærmelse for dens gennemsnitstemperatur.

- | | | |
|------------|--|-------|
| C.1 | Udfør en køle-opvarmning-køle sekvens, og angiv dine målinger i tabel C1, så du kan beregne gennemsnitstemperaturen. | 1.0pt |
|------------|--|-------|

- | | | |
|------------|---|-------|
| C.2 | Tegn på et udleveret grafpapir en graf, der viser stangens gennemsnitstemperatur som funktion af tiden. | 1.0pt |
|------------|---|-------|



- C.3** Ved hjælp af din graf fra sidste opgave, skal du udregne stangens specifikke varmekapacitet c_p og stangens tab af varmeenergi per tid P_{tab} , når stangens temperatur er tæt på gennemsnitstemperaturen for situationen med næsten ligevægt fra del B. Beskriv din metode ved hjælp af diagrammer og ligninger. 1.0pt

For at forbedre præcisionen af målingen af stangens varmeledningsevne fra del B, skal du betragte to mekanismer, som var de vigtigste fejlkilder.

- Der var tab af varmeenergi forårsaget af varmetransport i en retning vinkelret på stangens akse gennem stangens isolering.
- Systemet havde ikke opnået en ligevægt da målingerne blev foretaget.

Du kan antage at ændringen per længdeenhed af energistrømmen $\Delta P(x)/\Delta x$ er konstant overalt i stangen på grund af disse mekanismer.

- C.4** Udled et korrigeret udtryk for varmeledningsevnen af kobber, hvori du tager højde for de mekanismer, der blev diskuteret ovenfor, og gør brug af førnævnte antagelser. Udtryk den korrekte værdi for kobbers varmeledningsevne κ_{kobber} ved hjælp af de følgende størrelser $\kappa_0, P, c_p, m, P_{tab}, \frac{\Delta T}{\Delta t}$ fra del B og C. Udregn værdien for κ_{kobber} 1.0pt

Del D: Messing og Aluminiums varmeledningsevne (1.0 point)

Forbind den isolerede stang #2 til den digitale måleboks og kalibrer termometrene i denne stang, som angivet i begyndelsen af del B.

- D.1** Angiv begyndelsestemperaturen af stang #2, når stangen er placeret på bordet. 0.1pt

Tag termometerkablet ud af kontakten i stang #2 og skru stang #2 fast på grydelåget som vist på figur 4. Tilslut nu termometerkablet igen.

Gentag metoden brugt i del B for at få stangen tæt på ligevægt under opvarmning.

Vent mindst **15 minutter** mens varmeelementet er tilsluttet strømkilden, før du laver målinger.

Med hensyn til præcisionen af dette resultat, kan du antage, at stangen er i ligevægt. Du kan derudover antage, at stangens varmetab per længdeenhed er konstant langs hele stangen.

- D.2** Angiv i svararket temperaturmålingerne for alle 8 termometre og skriv $\Delta T/\Delta x$ for hver sektion. 0.2pt

Du bruge antagelsen at $\Delta P/\Delta x$ er konstant som i C.4.

- D.3** Udtryk $\kappa_{messing}$ og $\kappa_{aluminium}$ ved at bruge dine tidligere målinger og beregn deres numeriske værdier. 0.7pt

Del E: Wiedemann-Franz' lov

Wiedemann-Franz' lov udtrykker, at i metaller, hvor varmetransmission er domineret af frie elektroner,



afhænger forholdet mellem varmeledningsevnen og den elektriske konduktans lineært af den absolutte temperatur. Endvidere, siger loven, at hældningskoefficienten $L = \frac{\kappa}{\sigma T}$ (kaldet "*Lorenz-tallet*") i denne sammenhæng har samme værdi for de fleste metaller, og kun afhænger af fundamentale naturkonstanter. I virkeligheden holder loven kun med omkring 10% nøjagtighed for metaller ved stuetemperatur.

- | | | |
|------------|---|-------|
| E.1 | Skriv dine resultater for den termiske og elektriske ledningsevne (κ, σ) i tabel E1 på svararket. Beregn værdien af L for hvert materiale, under antagelsen af, at varmeledningsevnen ikke afhænger af temperaturen, og skriv dine resultater i tabel E1. | 0.5pt |
|------------|---|-------|

DELEGATION PRINT